

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Karolína Rychtecká

Univerzita Karlova

Pedagogická fakulta

Katedra biologie, geologie a environmentalistiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Problematika odpadních vod a využití tematiky ve výuce přírodopisu

The Issue of Waste Water and its Inclusion in Biology Education

Karolína Rychtecká

Vedoucí práce: RNDr. Jana Skýbová, Ph.D.

Studijní program: Specializace v pedagogice

Studijní obor: Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením
na vzdělání a výchova ke zdraví se zaměřením na vzdělání

Odevzdáním této bakalářské práce na téma Problematika odpadních vod a využití tematiky ve výuce přírodopisu potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne 29.6.2018

Touto cestou bych chtěla poděkovat zejména vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Janě Skýbové, Ph.D. za její obětavou pomoc, cenné rady a věcné připomínky, které mi vždy s ochotou poskytla. Poděkování patří také Mgr. Dagmar Říhové, Ph.D. za vstřícné poskytnutí hodnotné konzultace. V neposlední řadě děkuji Bc. Danielovi Brabencovi za jeho cenné připomínky k chemickým částem práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce shrnuje problematiku odpadních vod a její využití ve výuce. Skládá se z části teoretické a praktické. Teoretická část se v prvních kapitolách zabývá druhy existujících odpadních vod a znečišťujícími látkami. Rovněž jsou zahrnuty i metody, které se využívají pro stanovení organických látek. Třetí kapitola shrnuje problematiku čistírenství v kontextu historie od raných civilizací po 20. století. Kapitola slouží jako propojení do současnosti. Současnost přibližuje čtvrtá kapitola, která pojednává o mechanismech a technologiích, které se v čistírnách odpadních vod využívají. Zahrnut je i stručný výčet některých typů čistíren odpadních vod. Poslední kapitola teoretické části se věnuje teorii didaktické hry. Praktická část práce obsahuje náměty na aktivity k začlenění tematiky odpadních vod do výuky pomocí didaktické hry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Polutanty, čistírna odpadních vod, historie čistírenství, mechanismy čištění, didaktická hra

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the topic of wastewater treatment and its use in elementary education. It consists of theoretical and practical part. The theoretical one sums up all types of existing wastewater and polluting substances, besides that it includes the techniques for determining organic substances. Third chapter deals with water purification throughout the history – from the early civilizations to the 20th century. This chapter provides a much needed context for the rest of the thesis. Current techniques of water purification are mentioned in the fourth chapter where are also listed the most common types of water purification facilities. The last chapter of the theoretical part is dedicated to a didactic game for elementary school teaching. Practical part of the thesis consists of recommended activities for educating students about wastewater treatment and the responsibilities we all have concerning this topic.

KEYWORDS

Pollutants, wastewater treatment plant, history of wastewater treatment, techniques of wastewater purification, didactic game

Obsah

Slovník pojmů.....	8
Úvod.....	10
1 Druhy a dělení odpadních vod	12
1.1 Splaškové (městské) odpadní vody.....	12
1.2 Průmyslové odpadní vody.....	15
1.3 Kapalné odpady ze zemědělství	17
1.4 Dešťová (srážková) odpadní voda.....	18
2 Charakteristika a složení odpadních vod	19
2.1 Sloučeniny dusíku	19
2.2 Fosfor a jeho sloučeniny	21
2.3 Chloridy v odpadních vodách	22
2.4 Sacharidy, další bezdusíkaté organické látky a lipidy	23
2.4.1 Sacharidy	23
2.4.2 Organické bezdusíkaté látky (mastné kyseliny)	23
2.4.3 Lipidy.....	23
2.5 Ostatní organické látky	26
2.5.1 Tenzidy (povrchově aktivní látky).....	26
2.5.2 Léčiva.....	27
2.5.3 Biologicky rezistentní organické zbytky	27
2.6 Stanovení celkových organických látek.....	27
2.6.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK ₅ , BOD).....	28
2.6.2 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK, COD)	29
2.6.3 Stanovení organického uhlíku	29
3 Problematika čistírenství z hlediska historie	31
3.1 Raná období	31
3.2 Starověké Řecko a Řím.....	32
3.3 Středověké období a raný novověk	34
3.4 Přelomové 18. století.....	35

3.5	Rozvoj čistírenství v průběhu 19. a 20. století	36
3.6	Historie čistírenství v Českých zemích	39
4	Mechanismy čištění odpadních vod a typy ČOV	47
4.1	Předčištění a primární čištění (mechanické)	47
4.1.1	Česle (brlení) a síta	48
4.1.2	Lapače písku a šterku	50
4.1.3	Usazovací nádrže	51
4.1.4	Lapače tuků	53
4.2	Sekundární čištění odpadních vod (biologické)	53
4.2.1	Biologické čištění v přirozených podmínkách	54
4.2.2	Biologické čištění v uměle vytvořených podmínkách	55
4.3	Terciální čištění odpadních vod	57
4.3.1	Chlorace	57
4.4	Stručný výčet některých typů ČOV	57
5	Teorie didaktických her	60
5.1	Výběr didaktické hry	62
5.2	Uvádění didaktických her	62
5.3	Závěrečná reflexe a otevřená diskuze v didaktické hře	64
5.4	Bezpečnost při didaktické hře	65
6	Využití tematiky odpadních vod ve výuce přírodopisu	66
6.1	Didaktická hra 1: Cesta odpaní vody z domácnosti až do řeky	68
6.2	Didaktická hra 2: Výroba filtru, aneb záchrana lidstva od špíny	71
	Závěr	74
	Seznam použitých informačních zdrojů	75
	Seznam použitých obrázků	80

Slovník pojmů

Adsorpce – hromadění látek na povrchu jiných látek

Aktivovaný kal (aktivní kal) – směs mikroorganismů, vzniká při biologickém čištění odpadních vod

Biodegradabilní látka – biologicky rozložitelné látky

Biodiverzita – rozmanitost živých organismů

Degradace – rozklad látek

Denitrifikace – přeměna dusičnanů na elementární dusík

Disperze – rozptýlení částic

Emisní standard – ukazatel přípustného znečištění

Emulgace – mechanické smíšení dvou nemísitelných kapalin

Eutrofizace – proces obohacování vod o živiny (zejména o dusík a fosfor)

Flokulace – schopnost mikroorganismů vytvářet vločkovitou (flokulentní) směs; vzniká při čištění aktivovaným kalem

Flotace – separace jemných heterogenních částic ve vzduchu či vod

Fluidní reaktor – reaktor, který pracuje se zplyňováním ve vzhledu

Infiltrace – vnikání, prosakování vody (např. průsak srážkové vody do půdy)

Jímka – nádrže či prohlubně v zemi, které slouží ke shromažďování odpadních vod dalších odpadů

Koloidní směs – disperzní směs obsahující částice o různé velikosti

Kontaminace – znečištění (např. vody) škodlivými látkami

Lyzol – roztok draselného pryskyřičného mýdla s příměsí kresolu (výskyt v kamenouhelném dehtu) s desinfekčním účinkem

Nitrifikace – proces oxidace amoniaku na dusičnany, meziproduktem jsou dusitany

Oxidace – chemický proces, při kterém dochází ke zvyšování oxidačního čísla dané látky; při oxidaci dochází k rozkladu organických látek za přístupu kyslíku

Patogen – choroboplodný zárodek, původce onemocnění

Pesticidy – chemické látky používané k hubení škůdců rostlin

Polutant – znečišťující látka

Primární kal – kal vzniklý po prvním stupni čištění odpadních vod

Proxemika – neverbální typ komunikace, vyjádření vztahu mezi lidmi prostřednictvím vzdálenosti

Recipient – vodní útvar, do kterého vyúsťují povrchové vody či odpadní vody

Reziduum – zbytek, pozůstatek (např. reziduum léku)

Sedimentace – proces usazování těžších nerozpustných částic

Specifická potřeba – množství vody za jednotku času připadajícího na 1 obyvatele

Stoková síť – soustava potrubí a dalších rozvodů, kterými je odváděna odpadní voda

Úvod

Voda má nezastupitelný význam nejen v přírodě, ale i v lidském životě. Je nedílnou součástí všech živých organismů, tedy i lidského těla. Pro člověka je však důležitá nejen z hlediska jeho metabolických pochodů v těle, ale také pro běžný život. Člověk vodu využívá každodenně v domácnostech, v průmyslu či v zemědělství.

Čištění a odvod odpadních vod má velmi dlouhou historii, která se pojí i s existencí člověka. Odpadní voda vzniká jeho přičiněním už od dávných civilizací až po současnost. Nutnost čištění odpadních vod a zachování co nejpřirozenějšího stavu a množství povrchových i podpovrchových vod je tedy nedílným úkolem člověka.

Podstatou je udržet výzkum týkající se povrchových i podpovrchových vod. Vyvíjet technologie pro odstraňování nepřeberného množství znečišťujících látek. Nadále konstruovat čistírny, které budou v dnešním světě podpůrným činitelem k udržení zdravotně nezávadných vodních zdrojů. Důležité je rozvíjet legislativní rámec, který má být určujícím pro maximální povolené množství znečišťujících látek vypouštěných společně s přečištěnou odpadní vodou do recipientu. Součástí je i rozvoj ochrany životního prostředí. Usiluje o zachování čistoty povrchových i podpovrchových vod a biodiverzity vodních ekosystémů.

Základem je i samotné uvědomění a smýšlení člověka o cennosti vody na Zemi. O její nezbytné potřebě k jeho každodennímu životu a k přežití. Podstatou však není jen samotné abstraktní myšlení a uvažování o nutné potřebě vody. Současně je třeba umět si teoretické smýšlení o důležitosti vody v životě převést do praxe, tedy začít činit.

Proto je velmi podstatné o dané oblasti mluvit s dětmi ve škole, kroužcích a dalších ekologicky zaměřených aktivitách. Uvést nutnost péče o vodu a vodní zdroje nejen do povědomí, ale i do praxe. Naučit je vnímat vodu jako nezbytnou součást našich životů, a to z mnoha úhlů pohledu. Neboť jsou děti naší budoucností, je podstatné vést je ke zdravému smýšlení o ochraně, využitelnosti a zachování vodních zdrojů, s perspektivou pro další generace

Předat poznatky o této problematice dětem a ukázat jim praktickou cestou úlohu vody nejen v jejich životech, ale i v celé společnosti, má v kompetenci sám učitel. Prakticky může dětem vštípit podstatu péče o vodní zdroje a vznikající odpadní vodu pomocí exkurzí do čistíren, aktivitami, hrami či projektovým vyučováním. Zážitek je totiž nejlepší cestou k pochopení a ukotvení nabytých poznatků.

Cíle práce:

- Shrnout druhy odpadních vod a jejich vznik.
- Podat přehled základních znečišťujících látek v odpadních vodách.
- Uvést problematiku odpadních vod v kontextu světové i české historie.
- Podat stručný přehled základních využívaných mechanismů čištění a druhů čistíren odpadních vod.
- Poskytnout náměty pro využití tematiky odpadních vod ve výuce přírodopisu pro 8. a 9. ročníky ZŠ.

1 Druhy a dělení odpadních vod

Odpadní vody jsou veškeré vody, které byly použité v domácnostech, průmyslových odvětvích, zemědělství, ve zdravotnických, stavebních a dalších zařízeních, u nichž došlo ke změnám fyzikálních i chemických vlastností. Rovněž se mezi odpadní vody řadí i vody odtékající, které mohou jakýmkoliv způsobem ohrožovat jakost povrchové i podpovrchové vody (voda z atmosférických srážek, která byla po dopadu znečištěna a je odváděna do recipientu). Zařazeny jsou i průsakové vody z odpadních skládek a odkališť.

V literaturách najdeme nejčastěji dělení odpadních vod podle místa, odkud odtékají. Členění se u autorů liší jen velmi málo.

Pitter (2009) odpadní vody rozděluje na:

- splaškové odpadní vody (splašky)
- průmyslové odpadní vody
- odpadní vody ze zemědělství
- dešťová odpadní voda.

Topinka, Tomek, Fousek (1967) ve svém rozdělení navíc uvádí i vody infekční, které odtékají z infekčního prostředí (budovy nemocnic, lázně, sanatoria, z jatek aj.). Tyto vody mohou významně narušit lidské zdraví, neboť obsahují různé druhy patogenů. Proto se bez předchozího chlorování a sterilizace nemohou vypouštět do stokové sítě.

1.1 Splaškové (městské) odpadní vody

Splaškové odpadní vody (splašky) jsou odpadní vody z lidských obydlí (kuchyně, sociální zařízení, koupelny). Rovněž se jedná o vody pocházející z restaurací a dalších stravovacích zařízení, z hygienických objektů apod. Ke splaškovým vodám se často přiřazuje i pojem městské odpadní vody, které obsahují jak splašky, tak i určitý podíl průmyslových odpadních vod (Pitter, 2009).

Hlavním znakem splaškových odpadních vod je podíl organických látek, zejména fekálií či moči aj., které podléhají mikrobiálnímu rozkladu. Vody jsou díky těmto procesům často zakalené, šedě zbarvené a páchnoucí (Jednotné analytické metody, 1953).

V některých literárních zdrojích (např.: Šálek a kol, 2012; Henze a kol, 2008) je možné se setkat s pojmem „šedé odpadní vody“. Jedná se o splaškové vody, které neobsahují moč ani fekálie, nýbrž pouze vody z mytí, praní či čištění. Takto vzniklá odpadní voda (zvláště z umyvadel, van a sprch) se dá později využít k zalévání či splachování (Šálek a kol., 2012).

Fekáliemi a močí se do odpadních vod dostávají nejrozličnější sloučeniny a látky. Charakteristickými jsou například steroidní sloučeniny (žlučové kyseliny, steroly či steroidní hormony). Steroidní hormony (například progesteron, estrogen) jsou přirozenými složkami moče z ženského těla. Jejich množství v odpadních vodách je zvyšováno například užíváním hormonální antikoncepce. Pro moč jsou z organických látek charakteristické převážně dusíkaté látky. Z nich svým podílem dominuje močovina, v daleko menším množství pak aminokyseliny a amoniakální dusík. Vzhledem k rychlému rozkladu močoviny a aminokyselin se však v závěru zvyšuje podíl amoniakálního dusíku v odpadních vodách. Z anorganických látek obsažených v moči je nejvyšší koncentrace chloridů a draslíku, dominantní je i sodík (viz Tabulka 1). Dále jsou pak zastoupeny sírany či fosfor (Pitter, 2009).

Kvantum splaškových odpadních vod je přibližně ve shodě se specifickou potřebou vody na jednu osobu za jeden den. Udává se v litrech a závisí na vybavení domácnosti. Pro klasické byty s odtokem vody, WC, koupelnou a centrální přípravou teplé vody je množství vzniklých splaškových vod přibližně 150 litrů na osobu za den. Oproti tomu u bytu pouze s výtokem vody se počítá s množstvím okolo 44 litrů splaškové odpadní vody na osobu za den. U městských odpadních vod je specifická potřeba na osobu na den přibližně dvojnásobně vyšší, cca 300 litrů (Pitter, 2015).

Tabulka 1: Průměrné složení moči při produkci 1 500 ml na 1 obyvatele za 1 den (Pitter, 2009, s. 467)

Složka	Produkce (g d⁻¹)	Koncentrace (mg l⁻¹)
Sodík	5,0	3 300
Draslík	2,2	1 465
Vápník	0,2	133
Fosfor	1,2	800
Síra	2,7	1 800
Chloridy	9,0	6 000
Hydrogenuhličitany	0,1	67
Amoniakální dusík	0,58	387
Močovina	30	20 000
Močová kyselina	0,75	500
Hippurová kyselina	0,70	470
Kreatinin	1,5	1 000
Aminokyseliny	1,0	670

Změny množství městských odpadních vod závisí na způsobu života obyvatel, vybavení v domácnostech, charakteru kanalizační sítě a napojení průmyslových vod. Rovněž je kolísání během dne a noci ztelnější v menších obcích. Ve velkých průmyslových městech nedochází k velkým výkyvům díky aktivnímu nočnímu životu (Topinka, Sýkora, Zvejška, 1967).

1.2 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody jsou vody organického i anorganického původu, které pochází z různých podniků, průmyslových výroben a závodů. Rovněž se do této kategorie řadí i odpadní vody ze zemědělství. Od splaškových odpadních vod se liší svým složením a vlastnostmi, které se odvíjí od daného druhu průmyslové výroby. Lze tedy říci, že každý průmysl má svou vlastní odpadní vodu. S typem průmyslové výroby se pojí i následná rozdílnost ve škodlivosti vzniklých odpadních vod (Jednotné analytické metody, 1953).

Chudoba (1991) rozděluje průmyslové odpadní vody podle typu znečišťujících látek na odpadní vody znečištěné převážně anorganickými látkami a odpadní vody znečištěné převážně organickými látkami.

Kromě těchto dvou dělení existují i průmyslové vody přechodné, které obsahují směs organických i anorganických látek (Chudoba, 1991).

Podle povahy jsou znečišťující látky v odpadních průmyslových vodách hrubého charakteru s následným procesem sedimentace (písek, kamení, hlína) či plovoucími hmotami (papír, dřevo), látky tvořící jemnou suspenzi či látky koloidně a molekulárně rozpuštěné. Specifickou skupinou jsou pak látky organického původu (rozpuštěné či nerozpuštěné), mikroorganismy a další různorodé skupiny vyšších organismů (Jednotné analytické metody, 1953).

Anorganické látky v průmyslových odpadních vodách mohou být obsaženy ve formě nerozpuštěné nebo rozpuštěné, které se navíc vyznačují různou měrou toxicity. Mezi netoxické rozpuštěné anorganické látky řadíme odpadní vody ze závodů moření železa, výroben anorganických látek či dusíkatých hnojiv (Chudoba, 1991).

Toxické průmyslové odpadní vody s rozpuštěnými anorganickými látkami pak vznikají například v povrchových úpravách kovů či jaderném průmyslu (radioaktivní vody). Nerozpuštěné anorganické látky jsou obsaženy v odpadních vodách z praní uhlí a rud, sklářského a keramického průmyslu a podobně (Pitter, 2009).

Na rozpustnosti či nerozpustnosti anorganických znečišťujících látek v průmyslových odpadních vodách závisí i způsob čištění. Nejčastěji se využívá čištění mechanicko-chemické, případně čistě chemické, jako je například neutralizace, srážení (Nosek a kol., 1957).

U nerozpustných anorganických látek probíhá jejich odstraňování nejčastěji čiřením, sedimentací či filtrací. Z rozpuštěných se odstraňují pouze jedovaté látky, jako jsou například kyanidy, sulfidy, těžké kovy aj. Netoxické rozpuštěné látky se ve vodě ponechávají a vypouštějí se zpět do povrchových vod. Jedná se zejména o sírany, chloridy, sodík nebo draslík (Chudoba, 1991).

Druhou větší skupinou průmyslových odpadních vod jsou převážně organicky znečištěné vody, které mají velký vliv na životní prostředí. Pitter (2009) tyto látky rozděluje podle jejich biologické rozložitelnosti a obsahu toxických látek do uskupení:

1. biologicky rozložitelné netoxické látky (lipidy, proteiny, sacharidy, mastné kyseliny aj.)
2. obtížně biologicky rozložitelné netoxické látky (některá organická barviva, ligninsulfonany aj.)
3. biologicky rozložitelné toxické látky (formaldehyd, fenoly, nitrofenoly)
4. biologicky nerozložitelné toxické látky (některé pesticidy, chlorované uhlovodíky).

Většina průmyslových odpadních vod jsou směsí mnoha látek. Pro zařazení do skupin podle biologické rozložitelnosti a obsahu toxických látek jsou určující ty látky, které v dané průmyslové vodě převládají. Podle těchto skupin se pak používá vhodný typ čištění. Všeobecně se průmyslové odpadní vody dají čistit biologicky ve výhradně průmyslové čistírně odpadních vod nebo se čistí společně s vodami splaškovými v městských čistírnách odpadních vod (Chudoba, 1991).

Některé průmyslové výroby mohou mít vybudovány vlastní stokové sítě a soustavy. Vody s látkami biologicky rozložitelnými (první a třetí skupina) podléhají jednoznačně biologickému čištění. Aby mohlo dojít k biologickému čištění u třetí skupiny, tedy vod, které sice obsahují biodegradabilní látky, ale rovněž i látky toxické, musí se tento typ

průmyslové vody dostatečně zředit. Odpadní vody náležící do druhé a čtvrté skupiny se biologicky čistit nedají (Pitter, 2009).

U průmyslových odpadních vod hrají důležitou roli emisní standardy, které musí být stanoveny a dodržovány při vypouštění některých odpadních vod z průmyslových odvětví do vod povrchových.

1.3 Kapalné odpady ze zemědělství

Značná část povrchových vod je znečišťovaná nejen odpadními vodami z průmyslu, měst a vesnic, ale také odpadní vodou ze zemědělství, která obsahuje látky anorganického i organického původu. Jedná se například o zbytky pesticidů a dalších chemických látek, které se v zemědělské výrobě používají (Moldan, 2015).

Rovněž kapalné odpady ze zemědělství obsahují odpady ze silážování a velkochovů hospodářských zvířat, například močůvka a silážní šťávy (Pitter, 2009).

Silážování je proces využívaný ke konzervování krmiva pro dobytek. Nejčastěji se využívá anaerobní způsob mléčného kvašení, při kterém vzniká kyselina mléčná. Silážní šťávy silně zapáchají a obsahují vysoké koncentrace znečišťujících a jedovatých látek. Je-li silážování prováděno správně, silážní šťávy zůstávají v zásobnících společně s krmivem. Při nesprávné technologii může docházet k úniku vzniklých silážních šťáv do povrchových a podpovrchových vod, a tak způsobovat jejich znečištění (Mara, Horan, 2003).

Přítomny jsou například organické kyseliny (mléčná, octová a máselná), amoniakální dusík, železo, mangan a sacharidy (Gray, 2004).

Odpadní vody ze zemědělství se čistí kombinací mechanických, biologických a chemických technologií čištění. Vypouštění do povrchových vod v České republice upravují tyto zákony: Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) a Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích. Povolení o vypouštění těchto vod do recipientu vydává Vodoprávní úřad (Tuček, Slámová a kol., 2012).

1.4 Dešťová (srážková) odpadní voda

Dešťová voda s sebou cestou na zemský povrch vychytává nečistoty z ovzduší. Vlivem činnosti člověka dochází k nadměrnému okyselování atmosférických srážek, zejména oxidem siřičitým a oxidy dusíku. Atmosférickými srážkami (déšť, sníh) zachycené nečistoty pak při dopadu na povrch mohou působit negativně nejen na vegetaci a půdu, ale rovněž na povrchové a mělce uložené podzemní vody (Braniš, Hůnová a kol., 2009).

Vlivem suchého počasí dochází k usazování nečistot. Při deštích pak odtékající voda značně zatěžuje kanalizační síť jednak svým množstvím a jednak splavem usazených nečistot (zemina, jemné minerální kaly, splaveniny z ulic a střech), zejména na počátku deště (Klicman a kol, 1958).

2 Charakteristika a složení odpadních vod

Odpadní vody jsou složeny z nepřeberného množství rozpuštěných a rozptýlených látek. Jedná se o látky minerálního, živočišného a rostlinného původu. Rovněž se v odpadních vodách ve velkém počtu vyskytují různorodé skupiny organismů od bakterií až po živočichy (Klicman a kol., 1958).

Nově vzniklé odpadní vody nemají silný zápach. Ten nastupuje až po pár hodinách, kdy začne docházet k rozkladu organických látek. Koncentrace rozpuštěných a rozptýlených látek je relativně malá, přibližně 0,1 %, přičemž polovina z toho je neškodného minerálního původu (Klicman a kol., 1958).

Z hlediska charakteristiky a složení odpadních vod je nutno zohlednit nejen látky rozpuštěné a rozptýlené v odpadních vodách, ale také její biologickou hodnotu.

2.1 Sloučeniny dusíku

Nejvýznamnější složkou odpadních vod, zejména těch splaškových, jsou organické a anorganické sloučeniny obsahující dusík. Anorganickou formu zde z většiny reprezentují amonné soli, dále pak dusičnany a dusitany. Sloučeninami obsahující organicky vázaný dusík jsou mimo jiné bílkoviny, aminokyseliny či peptidy a produkty vzniklé jejich rozkladem (Herka, 2014).

Pitter (2015) ve své knize uvádí, že u dusíku je podstatná jeho celková specifická produkce na 1 osobu za 1 den, která se nejčastěji počítá na 12 g, přičemž se odvíjí od vybavení v domácnosti.

Odpadní vody jsou velmi bohaté na amoniakální dusík (NH_4^+), který je produkován při rozkladu ústrojných dusíkatých látek rostlinného či živočišného původu. Amoniakální dusík se v odpadních vodách vyskytuje jednak ve formě organické (močovina, kyselina močová a deriváty aminokyselin), a jednak ve formě anorganické (amonné soli, dusičnany, dusitany). Směs se do odpadních vod dostává vodami splaškovými – domácnosti,

podzemními – průsak směsí srážkových vod s hnojivy, či cestou průmyslových vod ze zemědělství (Herka, 2014).

Koncentrace amoniakálního dusíku v odpadních vodách z domácností se pohybuje v desítkách mg l^{-1} , abnormálně vysoké jsou pak koncentrace ve vodách ze zemědělství a průmyslu, které se pohybují až v tisících jednotkách mg l^{-1} – například močůvka cca 7000 mg l^{-1} (Pitter, 2015).

Charakteristickými vodami obsahující amoniakální dusík jsou například vody ze zpracování uhlí, galvanického pokovování či kafilérií (Venská, 2015).

Amoniakální dusík výrazně ovlivňuje korozivní procesy mědi a jako elektroneutrální molekula NH_3 jednodušeji proniká skrz biomembrány. Je tedy toxickým prvkem pro ryby a další organismy (Pitter, 2015).

Dále je dusík v odpadních vodách zastoupen ve formě dusičnanů (NO_3^-) a dusitanů (NO_2^-). Dusičnany se do odpadních vod dostávají zejména lidskou činností a splachem hnojiv ze zemědělských půd, případně z průmyslových závodů (mlékárny, pivovary aj.). Dusičnany, stejně jako amoniakální dusík, patří ve vodách mezi velmi hlídané sloučeniny. Významně se podílí na eutrofizaci vod a svou přeměnou na dusitany se stávají toxickými pro lidský organismus (Venská, 2015).

Rovněž se v malé míře vyplavují z lesní půdy a v závislosti na podnebných podmínkách a složení půdy i v období vegetačním, podstatně více pak v období vegetačního klidu (Pitter, 2015).

Množství dusičnanů ve splaškových vodách se pohybuje v jednotkách mg l^{-1} ve vodách průmyslových se hodnota zvedá až ke stovkám mg l^{-1} (Herka, 2014).

Do odpadních vod se například ze strojírenského a energetického průmyslu mohou uvolňovat i další anorganické sloučeniny dusíku, například kyanidy (CN^-). Jejich množství se pohybuje okolo desítek mg l^{-1} . Kyanidy jsou toxické pro zooplankton, ryby i další vyšší organismy. Zvláště nebezpečná je plynná forma kyseliny kyanovodíkové (HCN), ale i ve sloučeninách vázané či volné ionty CN^- (Malý, Hlavínek, 1996).

Obsah amoniakálního dusíku, dusičnanů a dusitanů ve vypouštěných průmyslových odpadních vodách patří k závazným stanoveným a zpoplatňovaným ukazatelům, které upravuje Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

2.2 Fosfor a jeho sloučeniny

Fosfor se v odpadních vodách vyskytuje jako součást fosfátů. Přítomné fosfáty jsou v odpadních vodách rozděleny podle fyzikálních vlastností na rozpuštěné a nerozpuštěné. To se stanovuje na základě filtrace skrz membránový filtr o velikosti pórů 0,45 μm (Sedlak, 1991).

Chemicky můžeme hovořit o anorganicky či organicky vázaném fosforu. Nejčastějším typem anorganicky vázaného fosforu jsou tzv. orthofosforečnany, které vznikají hydrolyzou polyfosforečnanů, které jsou běžnou součástí pracích a mycích prostředků (Pitter, 2009).

Fosfor můžeme v odpadních vodách nalézt v organické i anorganické formě (živočišné odpady). Dominantnost fosforečnanů v odpadních vodách je způsobena procesy probíhajícími v aktivním kalu přítomností mikroorganismů. Tyto mineralizují organickou formu fosforu za vzniku fosforečnanů (Van Haandel, Van der Lubbe, 2007).

Značné množství fosforu se do odpadních vod dostává splaškovými vodami z domácností. Množství fosforu v odpadních vodách silně závisí na ekonomické vyspělosti země. Významným zdrojem fosforu jsou prací, odmašťovací a čisticí prostředky nebo protikorozní přípravky. Zdrojem organického, ale i anorganického fosforu jsou produkty metabolismu lidí, proteinové materiály a další živočišné odpady (Van Haandel, Van der Lubbe, 2007).

Fosfor je také významným nutrientem, tudíž se hojně podílí na procesu eutrofizace. Při tomto procesu dochází ke zrychlenému růstu sinic a bakterií ve vodě, a tím ke snížení její kvality a využitelnosti (Herka, 2014).

Množství fosforu, vyprodukované jednou osobou za jeden den je přibližně 1,6 g. Specifická produkce fosforu je používáním mycích a čisticích prostředků zvyšována až na 2–3 g na osobu za den. V minulých desetiletích byla jeho specifická produkce vyšší, až 5 g fosforu

na osobu za den. Ke snížení došlo díky nahrazování fosforečnanových přípravků těmi, které fosforečnany neobsahují. Důležitým ukazatelem množství fosforu v odpadních vodách je celkový fosfor (P_{celk}), tedy celkové množství anorganicky (P_{anorg}) a organicky vázaného fosforu (P_{org}) (Pitter, 2009).

2.3 Chloridy v odpadních vodách

Chlór ve formě chloridů (Cl^-) je hlavní anorganickou složkou jak v přírodních, tak odpadních vodách. Do přírodních vod se chloridy dostávají z hornin a půdy, z pobřežních oblastí, z průmyslu a domácností nebo infiltrací podzemní vody do vody slané (moře). Koncentrace chloridů v přírodních vodách je nižší než v odpadních (Spellman, 2014).

Chloridy se do odpadních vod dostávají převážně vodami splaškovými, neboť NaCl (sůl) je běžnou součástí stravy a rovněž jsou chloridy nedílnou součástí metabolismu lidí (moč). Vysoká hladina chloridů ve vodním toku může naznačovat, že je využíván k likvidaci lidského odpadu (Spellman, 2014).

Velké množství chloridů se do odpadních vod dostává díky změkčovačům vody. Jsou také součástí průmyslových odpadních vod (masný průmysl). Chloridy jsou rovněž označovány za potenciální znečišťovatele povrchových vod vlivem infiltrace z vody slané (Punmia, Jain, 1998).

Specifická produkce chloridů, pocházejících převážně z moče, je přibližně 7 – 9 g chloridů na 1 obyvatele za den. V městských odpadních vodách bývá množství chloridů vyšší (solné posypy, průmyslové závody aj.). Tímto dochází ke zvýšení specifické produkce chloridů až na 20 g na osobu za den. Koncentrace chloridů v městských odpadních vodách kolísá i na základě ročního období, kdy v zimních měsících stoupá kvůli solným posypům. Z odpadních vod se běžně neodstraňují (Pitter, 2009).

2.4 Sacharidy, další bezdusíkaté organické látky a lipidy

2.4.1 Sacharidy

Sacharidy jsou organické bezdusíkaté látky, které zahrnují jednoduché monosacharidy a složitější polysacharidy (celulóza, škrob, pektiny). Monosacharidy jsou dobře rozpustné ve vodě. Polysacharidy jsou složitějšího složení a ve vodě jsou špatně rozpustné nebo nerozpustné (Spellman, 2014).

Sacharidy jsou obsaženy i v odpadních vodách z průmyslu. Příkladem je dřevařský a papírenský průmysl, v jehož odpadních vodách se nachází značné množství dřevných vláken a celulózy. Dále jsou sacharidy hlavními znečišťujícími látkami v potravinářském průmyslu (cukrovary, škrobárny). Rovněž jsou kontaminanty v textilním průmyslu, kde se podle stádia a druhu výrobního procesu mohou objevovat pektiny a vláknina (výroba vláken) nebo škrob, například textilní úpravny (Jednotné analytické metody, 1953).

2.4.2 Organické bezdusíkaté látky (mastné kyseliny)

Zastoupení organických bezdusíkatých kyselin je poměrně velké. Prokazatelně se jedná o kyseliny těkavé (octová, propionová) i netěkavé (kyselina mléčná, citrónová, šťavelová). Jejich množství počítá v desetinách až jednotkách mg l^{-1} a u kyseliny propionové až v desítkách mg l^{-1} (Pitter, 2009).

Organické bezdusíkaté kyseliny jsou součástí splaškových a průmyslových odpadních vod. Příkladem je opět potravinářský průmysl jako cukrovary a mlékárny – kyselina mléčná, škrobárny – kyselina octová a propionová (Jednotné analytické metody, 1953).

2.4.3 Lipidy

Tuky, oleje, vosky a mastnotu můžeme zařadit do skupiny s jednotným názvem lipidy. Lipidy jsou rozpustné pouze v organických sloučeninách (chloroform, ether), nikoli ve vodě (Rowe, Abdel-Magid, 1995).

Lipidy jsou velmi stabilní organické sloučeniny a je složité je rozložit na jednodušší látky. K jejich rozkladu se využívají hydrolytické reakce, které štěpí tuky na volné mastné kyseliny

a glyceridy. Nejčastější volné mastné kyseliny v odpadních vodách jsou kyselina palmitová, stearová a olejová (Gray, 2004).

Do odpadních vod se dostávají nejčastěji z domácností (příprava jídla) Dále pak z autodílen, továren nebo splachem motorových olejů ze silnic a dálnic (Punmia, Jain, 1998).

Lipidy se v odpadních vodách vyskytují ve formě volné (plovoucí látky), emulgované nebo adsorbované a podle přítomné formy podléhají mechanickému (volné a adsorbované lipidy) nebo biologickému čištění, například emulgované lipidy (Pitter, 2009).

V čistírnách se využívá například metoda DAF¹, neboli flotace rozpuštěným vzduchem. Provzdušňováním dochází k vyzvedávání tukových částic na hladinu, odkud jsou odstraňovány a následně likvidovány (Hendricks, 2006).

Jejich vysoký obsah v odpadních vodách může způsobovat značné problémy. Mezi nejčastější z nich patří zanášení filtrů a trysek nebo usazování na stěnách nádob. Při nedůkladném odstranění a následném vypuštění do povrchových vod vytváří na vodní hladině mastné skvrny, případně zasahují do probíhajících biologických procesů (Spellman, 2014).



Obrázek 1.: Londýnská kanalizace zanesená tukem

Zanášení městských kanalizací tukem je v dnešní době poněkud běžný jev. Velkým problémem je například v Londýně, v České republice pak v Praze (zejména Staré a Nové Město). Za hlavní příčinu výskytu tuků v kanalizační síti jsou považovány zejména restaurace, které nedodržují

podmínky stanovené v kanalizačním řádu. V kanalizačním řádu je upraveno, co se

¹ Dissolved Air Floatation – anglická zkratka pro proces flotace rozpuštěným vzduchem; využívá se i v českém jazyce

do kanalizace smí vypouštět a v jakém množství. Každý pohostinský podnik by měl mít nainstalované své lapače tuků (záchytné jímky pro tuk). Některé restaurace je nemají. Pokud jsou tato zařízení přítomna, pak může být problém v jejich nedostatečné údržbě (Šafhauser, Smlsal, 2017).

2.5 Ostatní organické látky

Ostatními organickými látkami v odpadních vodách jsou tenzidy (povrchově aktivní látky). Dále jsou organickými látkami například léky a produkty lidského metabolismu, tedy fekálie a moč (Pitter, 2009).

2.5.1 Tenzidy (povrchově aktivní látky)

Tenzidy je souhrnný název pro povrchově aktivní látky. Jsou jedny z významných znečišťujících organických sloučenin, neboť jsou součástí čistících, kosmetických a hygienických prostředků (pasta na zuby, sprchové gely, šampóny na vlasy, mycí prostředky na nádobí). Tenzid se jako povrchově aktivní látka vyznačuje dvěma částmi, také jinak konci. Jedna část je hydrofobního charakteru (nerozpustná ve vodě), druhá hydrofilní (rozpustná ve vodě). Jsou tedy částečně rozpustné ve vodě, dále pak v organických sloučeninách (Vigneswaran, 2009).

Jejich základní vlastností je snižování povrchového napětí kapaliny díky hydrofilnímu a hydrofobnímu charakteru. Hydrofobní část se svým koncem naváže k nečistotě a hydrofilní část na molekulu vody. Tímto dochází k povrchovému odstranění špíny (Lichtfouse, 2009).



Obrázek 2.: Proces odstranění nečistoty z látky pomocí tenzidů obsažených například v pracím prášku

V dřívějších dobách byly tenzidy v odpadních vodách náležitě hlídány. V dnešní době už se vyrábí tenzidy, které jsou biologicky degradabilní, a tudíž se od sledování jejich množství v odpadních vodách upouští (Pitter, 2009).

2.5.2 Léčiva

Současným velmi diskutovaným tématem je množství nejrozličnějších léků, farmaceutických přípravků a veterinárních léčiv v široké škále vod. Léčiva byla nalezena v odpadních vodách, řekách, jezerech, podzemních vodách, ale i ve vodě pitné. Koloběh léčiv začíná ve farmaceutickém průmyslu, odkud putují do průmyslových odpadních vod. Od spotřebitele léčivých přípravků se dostávají močí a fekáliemi do splaškových odpadních vod. Bohužel mnoho čistíren není navrženo tak dokonale, aby byly schopny z odpadní vody kompletně odstranit všechny farmaceutické přípravky. Rezidua léčiv se pak společně s přečištěnou odpadní vodou mohou dostat do vod povrchových. Půda a následně podzemní voda může být kontaminována veterinárními léčivy, například vlivem hnojení statkovými hnojivy. Jejich koncentrace se může pohybovat až v $\mu\text{g l}^{-1}$ (Silva a kol., 2015).

2.5.3 Biologicky rezistentní organické zbytky

V neposlední řadě se v současnosti v městských odpadních vodách věnuje velká pozornost biologicky rezistentním organickým zbytkům (zbytkovým látkám). Jedná se o látky, které nepodléhají degradaci a zůstávají přítomné i v přečištěných odpadních vodách. Typicky se jedná o polysacharidy, polypeptidy, aromatické deriváty. Konkrétněji se za biologicky těžko rozložitelné látky považují například některé povrchově aktivní látky (mycí a čistící prostředky), pesticidy (například DDT) či huminové látky. Část zbytkových látek vzniká i v průběhu biologického čištění (Pitter, 2009).

2.6 Stanovení celkových organických látek

Odpadní vody obsahují pestré škálu organických látek v různě vysokých koncentracích. Některé z nich mohou přímo ovlivňovat biologické (teratogeny, mutageny) a chemické vlastnosti vod (pach, chuť, barva aj.), například chlorované a aromatické uhlovodíky nebo pesticidy. Objevují se ale i takové, které nevykazují žádné přímé vlivy na vlastnosti vody, ale jejich přítomnost může ovlivňovat koncentraci kyslíku, a tím celkový kyslíkový režim ve vodách, například sacharidy či aminokyseliny (Pitter, 2009).

Existuje velké množství organických látek, které ovlivňují kvalitu vod. Proto je velmi náročné zjišťovat původ a množství látek jednotlivě. Ke stanovení organických látek ve vodách se proto používá skupinové stanovení. Většinou se stanovují skupiny tvořené příbuznými látkami. Existují však výjimky, kdy se stanoví určitá skupina látek, např. fenoly a tenzidy (Chudoba, 1991).

Základními metodami, které jsou srovnatelné i v mezinárodním měřítku, jsou chemická spotřeba kyslíku (CHSK) a biochemická spotřeba kyslíku (BSK). Jak již název napovídá, jedná se o metody, které slouží k určování celkového množství organických látek pomocí kyslíku spotřebovaného na jejich oxidaci (Chudoba, 1991).

Dalšími metodami, kterých se využívá ke stanovení organických látek ve vodě, jsou teoretická spotřeba kyslíku (ThSK) a stanovení organického uhlíku (Slade, 1998).

2.6.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅, BOD)

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅; BOD¹) je významným ukazatelem kvality vody, který se využívá k chemickým rozborům povrchových i odpadních vod a k analýze kapacity biologických čistíren odpadních vod (Pitter, 2009).

Udává množství kyslíku, který spotřebují bakterie a další mikroorganismy k oxidaci organických látek přítomných ve vzorku vody za pět dní. Proces probíhá za aerobních podmínek a zahrnuje pouze látky biologicky rozložitelné (Palanna, 2009).

Vyjadřuje se v mg l⁻¹ a pro stanovení se využívá zředňovací metody. Při ní se měří pokles rozpuštěného kyslíku v lahvičce se vzorkem vody. Proces probíhá při konstantní teplotě 20 °C a úbytek rozpuštěného kyslíku se měří na jeho začátku a konci. Podmínkou je, aby proces probíhal za nepřístupu světla (Topinka, Sýkora, Zvejška, 1967).

¹ BOD – biochemical oxygen demand – zkratka pocházející z anglického názvu pro biochemickou spotřebu kyslíku (BSK₅)

2.6.2 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK, COD)

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK, COD¹) udává koncentraci organických látek ve vzorku vody podle množství použitého oxidačního činidla, které se spotřebuje k jejich oxidaci. Jako oxidační činidlo se používá dichroman draselný (odtud zkratka CHSK_{Cr}). Výsledky chemické spotřeby kyslíku se udávají v mg l⁻¹ (Palanna, 2009).

Princip stanovení CHSKCr spočívá v oxidaci organických látek dichromanem draselným v prostředí 50%ní kyseliny sírové při teplotě 150 °C po dobu 2 hodin za katalytického působení síranu stříbrného (Pitter, 2009, s. 281).

Chemická spotřeba kyslíku slouží jako rozšíření BSK₅, neboť zahrnuje biologicky rozložitelné, ale i nerozložitelné látky. Při použití dichromanové metody dochází k oxidaci i některých anorganických sloučenin, zejména chloridů (Chudoba, 1991).

CHSK se porovnává s teoretickou spotřebou kyslíku (ThSK, TOD²). Teoretická spotřeba kyslíku se vyjadřuje jako podíl množství kyslíku v gramech, který se spotřebuje na úplnou oxidaci jednoho gramu dané látky (Slade, 1998).

Obě metody se využívají ke stanovení jednak u specifických látek (specifické CHSK, ThSK) a jednak u směsí organických látek. Poměr specifických hodnot CHSK a ThSK vyjadřuje stupeň oxidace určité látky (Pitter, 2009).

2.6.3 Stanovení organického uhlíku

Stanovení celkového organického uhlíku (TOC³) je nepřímou metodou stanovení organických látek ve vodě. Princip se zakládá na spalování (oxidaci) organického uhlíku mokrou či termickou metodou za vzniku oxidu uhličitého (Chudoba, 1991).

¹ COD – chemical oxygen demand – anglická zkratka pro chemickou spotřebu kyslíku (CHSK)

² TOD – theoretical oxygen demand – anglická zkratka pro teoretickou spotřebu kyslíku (ThSK)

³ TOC – total organic carbon – zkratka vychází z anglického názvu pro celkový organický uhlík, využívá se běžně v české literatuře

Termická oxidace se provádí při teplotě 950 °C. Stanovení pomocí mokré metody se uskutečňuje za nižších teplot, zpravidla pod 100 °C. Výsledky se udávají v mg l⁻¹. Nejvýhodnější cestou pro stanovení celkového organického uhlíku je termická oxidace, neboť dochází k oxidaci všech přítomných organických látek (Spellman, 2014).

Modernější metodou je stanovení celkového organického uhlíku pomocí tzv. kyvetových testů. Jedná se o chemickou oxidaci organických látek za vzniku oxidu uhličitého při teplotě 100 °C, která zahrnuje možnost stanovení jak celkového organického uhlíku (TOC), tak celkového anorganického uhlíku (TIC¹) a celkového uhlíku (TC²) (Pitter, 2009).

¹ TIC – total inorganic carbon – zkratka vychází z angličtiny pro celkový anorganický uhlík, využívá se běžně v české literatuře

² TC – total carbon – zkratka vychází z angličtiny pro celkový uhlík, využívá se běžně v české literatuře

3 Problematika čistírenství z hlediska historie

Problematika odvádění odpadních vod byla diskutovaná už dávno před naším letopočtem. V dávných dobách lidé příliš nepomýšleli na čištění vody jako takové, nýbrž na její odvod a přesun z místa na místo. Už starověká Minojská civilizace, Řekové a Římané uměli s vodou do jisté míry manipulovat, ať už sběrem dešťové vody či separací té znečištěné.

Velký úpadek nastal v období středověku, kdy lidé dělali spíše kroky zpět, než aby docházelo k progresu v oblasti odvodu a čištění odpadních vod. Všeobecně se situace špíny, zápachu a zdravotních rizik moc neřešila. Důsledkem bylo šíření nejrůznějších chorob a epidemií, zejména moru. Později došlo k objevu, že některé patogeny se šíří znečištěnou vodou. To byl prvotní moment, kdy se lidé začali zajímat o čistotu vody a rozvoj čistírenství mohl začít.

Až do druhé světové války docházelo v oblasti čistírenství k mnoha pokrokům, výstavbám kanalizačních systémů a čistíren. Po válce rozvoj pokračoval. Nejen, že se inovovaly systémy čištění, ale také došlo k vydání mnoha předpisů a nařízení. Rovněž se začala rozvíjet i péče o životní prostředí, vodní ekosystémy a biodiverzitu vodních druhů.

3.1 Raná období

Historie čistírenství sahá až do Mezopotámie, do Akkadské říše, kde byl v údolí řeky Tigris, přibližně 3000 let před naším letopočtem, vystaven jednoduchý kanalizační systém. Jedná se o nejstarší formu doloženého centrálního kanalizačního systému. Voda byla z městských obydlí a veřejných koupelen odváděna do odpadních jam. Jímky byly vyčištěny až poté, co se tekutá složka vypařila z půdy (Tilley, 2011).



Obrázek 3.: Knóssoský vodní systém

odváděna pomocí okapů do nádrží. Jiná část kanalizace odváděla splašky a další odpady (Angelakis, Rose, 2014).

Suché odpady se ukládaly ve velkých prohlubních, kterým se říkalo *kouloura*. Princip jámy fungoval na způsobu vrstvení tak, že suchý odpad se zasypával zeminou, která se následně zalila znečištěnou vodou. Ve své podstatě se jednalo o velký kompost, který byl využíván ke hnojení zemědělské půdy (Tilley, 2011).

3.2 Starověké Řecko a Řím

Systém kanalizace starověkých Řeků odváděl odpady z veřejných toalet a dešťovou vodu do nádrží mimo město. Odtud byla voda cihlovými kanály odváděna do zemědělských oblastí, kde se využívala k zavlažování a hnojení půdy. Tento systém starověkých Řeků byl inspirací pro starověké Římany a další kultury (Henze a kol., 2008).

Římané nebyli pověstní rozvojem vědeckého výzkumu, i přesto že v aplikované vědě byli excelentní. Jejich vyspělá kultura je spíše známá jako kolébka rozvoje společenských vrstev

obyvatelstva a římsí architekti a inženýři hojně usilovali o zlepšení svého každodenního života (Tilley, 2011).



Obrázek 4.: Cloaca maxima v Římě z roku 1814

Historie čistírenství starověkých Římanů sahá přibližně do 6. století před naším letopočtem, kdy započala stavba nejstarší kanalizace na světě s názvem *Cloaca maxima* (v překladu velká stoka). *Cloaca maxima* byla vystavena mezi pahorky Kvirinál a Esquilin, na jejichž místě bylo později vybudováno město Řím (Richardson, 1992).

Prvotním účelem výstavby kanalizačního systému bylo vysušení tamní neobyvatelné bažiny a odvod dešťové vody do řeky Tibery. Později byla stoka propojena se systémem kanalizace, která odváděla odpady a odpadní vodu z některých veřejných koupelen a toalet (Henze a kol., 2008).

Systém bohužel nebylo možné zavést úplně všude. Obyvatelé, jejichž obydlí nebylo propojeno s tímto důmyslným systémem či neměli k dispozici veřejné toalety, vykonávali potřeby do kbelíků. Fekálie se poté využívaly jako hnojivo. Moč se separovala a byla využívána v textilní výrobě a prádelnách. Moč se používala jako amoniakální mýdlo k odstraňování špíny (Hlavínek, Mičín, Prax, 2001).

I přes soustavu kanálů a vodovodních systémů byl Řím stále velmi špinavým městem. Není tedy divu, že tuto éru doprovázel rozvoj mnoha chorob, což dokazuje i značné snížení populace (Tilley, 2011).

3.3 Středověké období a raný novověk

Středověké období nebylo příliš progresivní dobou v oblasti odvádění a čištění odpadních vod.

Běžně se praktikovalo vyhazování exkrementů a dalších odpadů z okna. Drobným posunem bylo zavedení zákonů a trestů, které měly tomuto způsobu zbavování se odpadů zabránit. Během 14. století byla v Paříži tato praktika dokonce výslovně zakázána. V první polovině 16. století bylo dokonce nařízeno, že každý dům v Paříži musí mít určené místo (nejčastěji nějakou jímku) pro vykonávání potřeb či hromadění dalšího odpadu. Zavedení jímek do každého domu byl skvělý nápad, bohužel jeho proveditelnost nebyla stoprocentní. Praktika vyhazování exkrementů a dalších odpadů z oken byla v mnoha městech Evropy využívána až do 18. století (Tilley, 2011).

V ulicích středověké Paříže byly rovněž vyhloubeny příkopy určené k vykonávání potřeb a vyhazování dalších odpadů, které následně odváděla dešťová voda. Zřídka kdy stačilo množství srážek k odplavení nečistot a příkopy pak zůstávaly silně znečištěné a zapáchající. Během 14. století, za vlády Karla VI., vymyslel Hughes Abriot způsob, jak eliminovat zápach a zpříjemnit tak prostředí města. Veškeré prohlubně nechal postupně zastřešit, čímž vytvořil jednoduché kanály. I přesto, že tento způsob byl jistým pokrokem, nedal se považovat za řádný kanalizační systém (Tilley, 2011).

Prostředí ve městech bylo špinavé, zapáchající a nehygienické. Zdravotní podmínky byly doslova příšerné, a tak docházelo k rozvoji mnoha chorob a epidemií. Nutnost vybudovat kanalizační systém bylo více než nezbytné. Až s rokem 1848, kdy epidemie moru nebývalou měrou zasáhla Londýn, došlo k prozření a tvorbě prvních plánů na výstavbu kanalizačního systému (Hager, 2010).

3.4 Přelomové 18. století

V polovině 18. století byl v Londýně využíván systém jímek. Jímky byly buď součástí domů nebo se nacházely na dvorech. Bohatší lidé měli vyhrazené soukromé půdy a zahradní plochy, kam tyto odpady odnášeli. Odpady byly pravidelně během noci uklízeny. Uklízečům se přezdívalo noční muži či mrchožrouti. Sesbírané odpady se následně využívaly jako hnojivo (Tilley, 2011).

Později byl zkonstruován povrchový kanalizační systém, jehož úkolem bylo odvádět vodu z domů a ulic do nejbližší řeky. Londýnský systém odvádění odpadů spočíval ve vedení žlabů z domů do středu ulice. Ze střech domů vedly okapy, kterými se dešťová voda dostávala do uličních žlabů a napomáhala tak k odplavení nečistot. Vzhledem k tomu, že dlažba v ulicích nebyla příliš udržována, byl tento systém málo účinný. Rovněž obyvatelé si na povrchový kanalizační systém příliš zvykli a začali do něj odhazovat všechno možné. Tím docházelo k přeplňování žlabů a následnému blokování odtoků vody (Tilley, 2011).



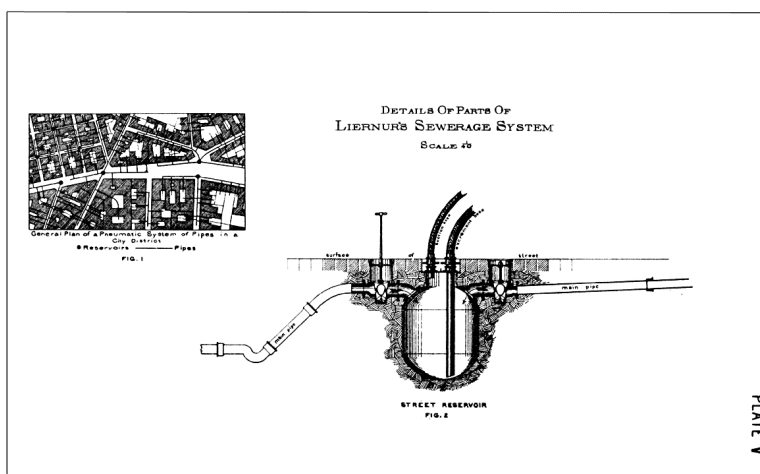
Obrázek 5.: Muž tlačící vozík s vědry nazývaný Boldoot

zápachu v ulicích města, dostal vozík název podle tehdy vyráběné kolínské – Boldoot. Tento systém nebyl příliš efektivní, a tak bylo zapotřebí vymyslet jiný způsob, jak odpadní vody odvádět. Byly dokonce vyhotoveny plány pro centrální kanalizační systém. K realizaci však nedošlo kvůli vysokým nákladům a dalším pochybnostem (Henze a kol., 2008).

V jiných zemích Evropy byly využívány i další systémy pro odvádění odpadů a odpadních vod mimo městské oblasti. Například v Holandsku se používal vozík s vědry, do kterých se odpady sbíraly. Protože během transportu docházelo k vylévání objemu a následnému silnému

3.5 Rozvoj čistírenství v průběhu 19. a 20. století

V 19. století se ve většině evropských měst začala využívat Liernurova podtlaková kanalizace, která sloužila k odvádění odpadních vod z toalet, a tudíž k separaci splaškové vody od ostatních odpadních vod. Splašková voda však nebyla odváděna do čistíren, nýbrž byla stejně jako v Řecku a Římě využívána k hnojení zemědělské půdy (Henze a kol., 2008).



Obrázek 6.: Liernurova podtlaková kanalizace

S rozrůstáním měst a expanzí stále většího počtu obyvatel bylo nutné najít nové cesty, jak se splaškové odpadní vody zbavovat a zamezit tak vzniku zápachu a zdravotních problémů. Rovněž bylo nutné začít řešit kvalitu povrchových vod. V Londýně byla v roce 1898 založena komise (Royal Commission on Sewage Disposal), která se snažila hledat cesty ke zlepšení situace. Objevili například metodu známou pod zkratkou BSK¹ (Hlavínek, Mičín, Prax, 2001).

Tou dobou už byl ve Velké Británii a USA učiněn objev organismů žijících na kamenech v řece, které byly schopny biologické filtrace. První pořádný systém pro odvod odpadních vod do řeky byl vybudován na konci 19. století ve Velké Británii ve městě Salford a do roku

¹ BSK – biochemická spotřeba kyslíku

1920 pak po celém Spojeném království. Počátkem 20. století byl stejný systém vystaven ve Spojených státech ve městě Madison, Wisconsin (Henze et al., 2008).

Odvod odpadní vody do řek byl do první poloviny 20. století základním procesem čištění odpadních vod a prvopočáteční cestou k pozdějšímu objevu tzv. aktivovaného kalu. Koncem 19. století stále docházelo ke zvětšování měst, a tím ke zvyšování počtu obyvatel. Řeky byly natolik zatíženy organickými znečišťujícími látkami, že bylo nutné proces jejich odstraňování z odpadní vody vylepšit a zefektivnit (Henze a kol., 2008).

Řešením se zdál být nový systém, který spočíval v tzv. prvotní úpravě odpadní vody, kdy docházelo k usazování hrubých nečistot, a tím k oddělování pevné a tekuté složky odpadní vody. Po čase vyšlo najevo, že tento systém sice vodu čistí, ale jen částečně. Důvodem bylo, že mnoho organických nečistot v odpadních vodách nejsou schopny usazování, a proto primární způsob čištění tento zásadní problém neřešil (Van Haandel, Van der Lubbe, 2007).

Vzhledem k zjištění, že primární čištění není dostačující, byl v prvním desetiletí 20. století objeven tzv. sekundární proces úpravy odpadní vody. Sekundární proces čištění byl založen na biologickém odstraňování organických látek z odpadní vody. V podstatě se jedná o proces tzv. aktivovaného kalu. Tento způsob čištění byl objeven ve Velké Británii Edwardem Ardermem a W. T. Lockettem pomocí jejich experimentu s provzdušňováním městských odpadních vod. Během experimentu zjistili, že provzdušňováním dochází k seskupení látek a tvorbě sedimentů, které se z odpadní vody lépe odstraňují a ve výsledku je voda daleko čistější. Důležitou částí jejich experimentu bylo opětovné použití sedimentů v jiném vzorku odpadní vody, kde docházelo k ještě rychlejšímu vychytávání organických látek. Z těchto poznatků byl daný proces čištění pojmenován jako aktivovaný kal (Van Haandel, Van der Lubbe, 2007).

Metoda aktivovaného kalu byla v první polovině 20. století považována za metodu, která vyřešila veškeré problémy s čištěním odpadních vod. V druhé polovině 20. století vyšel najevo další problém, kterým byla eutrofizace povrchových vod (Henze et al., 2008).

Procesem eutrofizace, který vzniká v důsledku zvýšeného obsahu dusíku a fosforu, docházelo v povrchových vodách k přemnožení řas a sinic. V roce 1960 začala být situace alarmující a bylo nutné vymyslet způsob, jak eutrofizaci eliminovat. To vyvolalo velké množství výzkumů v oblasti bakteriologie a bioenergetiky. Z bakteriologického hlediska se pomocí Monodovy kinetiky¹, která popisuje rychlost růstu bakterií a zároveň využití organického uhlíku, zjistilo, že k nitrifikaci dochází díky přítomnosti nitrifikačních autotrofních organismů. Růst těchto organismů je v porovnání s růstem heterotrofních organismů celkem pomalý. Výzkumem bylo odhaleno, že k vytvoření kolonie nitrifikačních bakterií, které budou produkovat i menší množství amoniaku, musí odpadní voda odstávat delší dobu (Henze a kol., 2008).

Výsledným produktem nitrifikace jsou dusičnany. Z hlediska bioenergetiky došlo k objevu heterotrofních organismů, které jsou schopny denitrifikace. Tedy procesu, kdy dochází k přeměně nitrifikací vzniklých dusičnanů na plynný dusík. V roce 1964 byl ve Švýcarsku zkonstruován systém aktivního kalu s denitrifikační nádrží. V podstatě se jednalo o dva na sebe navazující procesy. V první fázi byla voda prohnána aerobním aktivním kalem. Následně se dostala do anoxického prostředí druhé nádrže, kde probíhala denitrifikace za katalýzy metanolem. Využívání metanolu však bylo velmi nákladné a kontraproduktivní, neboť byl nesmysl vodu organických látek nejprve zbavit a v závěru je tam opět přidat. Řešením bylo obrácení postupu. Nejprve vodu prohnat denitrifikační nádrží a teprve potom nádrží s aktivním kalem. Ještě modernějším způsobem bylo zkombinování obou postupů (Henze et al., 2008).

Na eutrofizaci se podílí nejen dusík, ale také fosfor. Vlivem zvyšujícího se počtu obyvatel, jejich metabolických produktů a využíváním velkého množství různých čistících prostředků obsahujících fosfor došlo ke zvýšení jeho koncentrace v odpadních vodách. Aby mohl být

¹ Více informací o Monodově kinetice například v této práci:

https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/58878/2016_BP_Kecskesova_Viktoria_167642.pdf?sequence=1

fosfor z odpadní vody odstraněn, bylo nutné jej převést do pevné podoby. K odstraňování se dodnes využívá srážecí chemická reakce (Henze et al., 2008).

Koncentrace fosforu stoupá v prostředí, kde nedochází k provzdušňování vody. Později tento objev vedl k procesům tzv. zvýšeného odstraňování fosforu (EBPR). Levin a Shapiro pak na této bázi zkonstruovali první systém s názvem PhoStrip (Jenkins, Wanner, 2014).

Kolem roku 1970 docházelo k rozrůstání měst a velkému rozvoji průmyslové výroby. Situace vedla k dalším progresům v oblasti čistírenství. Průmyslové závody si čistily svou odpadní vodu samy a rovněž došlo k rozvoji mnoha dalších procesů a systémů (biologické provzdušňovací jednotky, fluidní reaktory aj.). Rovněž se začala rozvíjet péče o vodu a snaha zabránit přenosu patogenních organismů. Začala se provádět dezinfekce vody, nejčastěji její chlorací (Henze et al., 2008).

3.6 Historie čistírenství v Českých zemích



Obrázek 7.: Prevét na hradě Švihov

Prvopočátky čistírenství a stokování v Českých zemích můžeme zařadit do období středověku, kdy na hradech a tvrzích vznikaly první sociální zařízení tzv. prevéty, česky nazývány jako výsernice. Jednalo se o formu suchého záchodu, ze kterého moč a fekálie dopadaly přímo na hradby. Prevéty jsou z architektonického hlediska stavby arkýřovitého tvaru nesené na dvou krakorcích a vyčnívající vně hradeb. Nejen, že tato forma

sociálních zařízení byla odděleným místem pro vykonávání potřeb, ale jejich účelem bylo i znepříjemnit případným nájedníkům dobývání hradu (Sojka, 2013).

Některé středověké prevéty jsou dnes na hradech stále k vidění, například na hradě Loket či Pecka. Na hradě Kost se dokonce dochovala i kuchyňská jímka se žlábkem, po kterém stékala voda a kuchyňské odpady rovněž na hradby. Během raného středověku byly na našem

území objeveny i první pánské pisoáry. Například na hradě Buchlov se právě takový pisoár zachoval v hodovní síni. V podstatě se jednalo o jímku, která byla v místech nad úrovní pasu opatřena proutěnou zástěnou (Broncová, 2002).

Nejčastějším způsobem, kterým se tehdy lidé zbavovali exkrementů a moče, bylo vyhazování či vylévání z oken do prohlubní kolem domů. To vedlo k šíření epidemií (nejčastěji moru) a k přemnožení hlodavců. V teplých měsících roku se přidával i silný zápach, čímž bylo obyvatelstvo donuceno nevábně prohlubně zakrýt. Z prvopočátku byly příkopy kryty jen v některých místech. Později byly zpevněny cihlami a překryty téměř všude. Některé byly dokonce upraveny tak, že sloužily k odvodu nejen splaškové, ale i srážkové vody. Takovéto kanalizační systémy nejčastěji ústily do řek, případně rybníků (Broncová, 2002).



Obrázek 8.: Archeologické práce při odkrývání jímky

Během středověku bylo typické užívání jímek. Jímky sloužily k ukládání fekálií, moči, zbytků jídla a dalších odpadů. Z archeologických nálezů jsou doloženy například i zbytky textilií, kůže či stravy tehdejších obyvatel. Jímka byla obehnána dřevěnou konstrukcí. Vnitřek byl tvořen obyčejnou stolicí či prknem s otvorem. Obsah byl

pravděpodobně zasypáván vápnem či dalšími neutralizačními prostředky. Z jímek se často linul silný zápach a docházelo k průsakům i na sousední pozemky. To vedlo ke konfliktům mezi občany. Pokud se jímka přestala používat, zasypala se zeminou, případně jinými materiály. V uplatnění vešly také předpisy a hygienická nařízení pro užití jímek (Hudeček, 2014).

První doložená zmínka o kanalizaci je z roku 1310 u domu hradčanského probošta v Praze, který se nacházel v dnešní Nerudově ulici (Sojka, 2013, s. 12).

Téměř v polovině 14. století se v ulicích začali objevovat první čističi městských struh. Čištění vykonávali lidé na nízké společenské úrovni, kterým se říkalo *purgantes cloacas*. Odpady se odvážely v dřevěných sudech mimo město (Sojka, 2013).

V 15. století stále přetrvával zvyk vyhazovat odpady z oken, přesto se toalety postupně stávaly součástí budov. Nacházely se většinou na schodištích či pavlači. Odpady byly odváděny pomocí skluzů do jímek, případně se skladovaly na jednom místě. Odtud byly pravidelně uklíženy. Dalším způsobem bylo využití svodů, které odváděly odpady a srážkovou vodu přímo do příkopů v ulicích (Sojka, 2013).

Vzhledem k nezpevnění měšťanských struh docházelo k průsakům vody do půdy, jejím vypařováním k silnému zápachu a následnému šíření epidemií. To vedlo ke zhoršení hygienických a zdravotních podmínek ve městech. Zlepšení situace mělo zajistit vydání hygienických předpisů a stavebních nařízení pro odvádění odpadů. Stoky se musely více prohlubovat, zakrývat a konstruovat tak, aby odváděly splašky z měst do nejbližších vodních toků. Další výrazné zlepšení bylo podmíněno dlážděním ulic a pravidelnými očištění města. Přestože došlo ve městech k celkovému zpříjemnění prostředí, šíření epidemií se zcela zabránit nepovedlo. Na mnohých místech se totiž nadále využívaly žumpy, z nichž docházelo k průsakům splašků do podzemní vody. To mělo za následek znečištění studní, a tudíž i z nich využívané vody. Rovněž byla nízká kvalita vody z vodovodů (Sojka, 2013).



Obrázek 9.: Středověká koupel a péče lazebnice (pečovatelka v lázních)

Ve středověku byly v oblibě společné lázně a veřejné koupelny. Zde se lidé koupali v dřevěných, později v měděných vanách a k mytí rukou sloužila umyvadla s konvičkou. V některých lázních se na mytí rukou objevovala i umyvadla, nad nimiž byly pověšeny nádržky naplněné vodou a opatřené kohoutkem. Během 17.

a 18. století přišly do módy parfémy, čímž došlo ke snížení hygienických nároků a rozvoji nemocí. Reakcí na tuto situaci bylo zavírání lázní a postupný přesun hygienické péče do domácností (Broncová, 2002).

V domácnostech se ke koupání využívaly zinkové vany. Chudší část obyvatelstva využívala necky. K mytí rukou sloužila, stejně jako v lázních, umyvadla s konvičkou na vodu. V té době ještě neexistovaly samotné místnosti určené k hygieně a pokud ano, tak pouze v domech bohatých měšťanů a šlechty. Toaletní pokoje byly opatřeny velkým množstvím nábytku a porcelánovými umyvadly s různými doplňky a nádobkami. Součástí byly také stolice s odnímatelným dnem pro vykonávání potřeb. S průmyslovou revolucí se objevují nové výrobky jako byly například splachovací záchody (Broncová, 2002).

Počátek 19. století nepřinesl v oblasti čistírenství a odvádění odpadních vod téměř žádné změny. Valná většina domácností nebyla vybavena tekoucí vodou. Takový luxus si mohla dovolit pouze šlechta ve svých sídlech, kde postupně docházelo k renovaci toaletních pokojů. Modernější vybavení zahrnovalo vany, přenosné splachovací záchody, bidety aj. (Broncová, 2002).



Obrázek 10.: Nástěnný prameník

Běžné měšťanské domy byly přenosným splachovacím záchodem vybaveny až o něco později. Jednalo se o jednoduchou stolicí, jejíž součástí byla nádržka na vodu. Odvod odpadních vod v činžovních domech fungoval téměř na stejné bázi. Domy byly vybaveny jedním společným suchým záchodem, ze kterého byly odpady sváděny do žump a jímek. Kuchyňské odpady se sbíraly a vylévaly do jímky ve dvoře. S nástupem tekoucí vody byl standardně na každém dvoře vybudován nástěnný prameník. Součástí domů se stal i jeden společný splachovací záchod (Broncová, 2002).

Dalekosáhlejší změny přinesla až druhá polovina 19. století. Kolem roku 1860 byly vybudovány první byty s vlastním sociálním zařízením a dalším hygienickým

příslušenstvím. Výbava takového bytu spočívala v oddělené místnosti se splachovacím záchodem. V běžně obyvatelné místnosti se nacházelo umyvadlo za zástěnou a kuchyň byla vybavena výlevkou. Tyto byty však byly velice drahé a dostupné pouze pro zámožné měšťany (Broncová, 2002).

Největší rozmach byl zaznamenán přibližně v 80. letech 19. století, kdy se v Českých zemích objevily nové systémy a materiály. Jednalo se například o keramické dlaždice, obkladačky aj. Ty se využívaly na výstavbu prvních veřejných toalet ve městech a rovněž se zaváděly do domácností. Novinkou byl systém tlakového rozvodu vody, jehož instalací došlo k velkému technickému pokroku nejen v odvodu odpadních vod z domácností, ale také k rozvoji kanalizační infrastruktury ve městech (Broncová, 2002).



Obrázek 11.: Pisoár na Karlově náměstí z počátku 19. století



Obrázek 12.: Budova veřejných toalet přibližně z roku 1890

V průběhu 80. let 19. století se objevují první měšťanské i vícepodlažní domy s koupelnou a sociálním zařízením. V průběhu let se vybavení bytů koupelnami stávalo standardním postupem. U vícepodlažních domů se využívalo i odvětrávání koupelen do světlíku. V kuchyních nesměla chybět výlevka (Broncová, 2002).

Zatímco se ve městech budovaly koupelny a postupně rušily veřejné toalety, na vesnicích byl pokrok o něco pomalejší. Lidé zde využívali klasických suchých záchodů a jímky zasypávali vápnem nebo lyzolem. Nadále se koupali v neckách či lavorech ve dvoře. První větší posun se na vesnicích datuje až v první polovině 20. století, kdy se na návších začaly budovat

veřejné studny. Větší rozmach a výstavba vlastních studen začala až po druhé světové válce (Broncová, 2002).



Obrázek 13.: Stálá monitorovací stanice u Dolnopočernického rybníka

19. století bylo průkopové i ve výzkumu kvality vod. V jeho druhé polovině, konkrétně v roce 1888 u Dolnopočernického rybníku u Prahy, došlo k prvnímu biologickému monitoringu vody. Antonín Frič zde nainstaloval přenosnou hydrobiologickou monitorovací stanici. K monitoringu docházelo pravidelně a později byla přenosná stanice nahrazena stanicí statickou.

Výsledkem výzkumu poukazoval na zhoršení kvality vody (Broncová, 2002).



Obrázek 14.: Stará čistírna odpadních vod v Praze – Bubenči

Koncem 19. a počátkem 20. století byly velmi diskutované i plány pro kanalizační systém v Praze. Hlavním projektantem byl Sir William H. Lindley. Nejen, že navrhl stokovou síť pro centrum Prahy, ale rovněž i pro jeho přilehlé části. Jeho systém byl výjimečný v tom, že neústil do řeky, nýbrž přímo do čistírny, která byla součástí jeho projektu. Tak byla vystavena čistírna

odpadních vod v Bubenči (Hlavínek, Mičín, Prax, 2001).

Celkově velký rozvoj v oblasti čistírenství nastal až v počátcích 20. století, kdy k největším a významným pokrokům docházelo ve 30. letech. Města se rozrůstala, průmyslových závodů přibývalo, a tak bylo nutné řešit situaci odvádění odpadních vod na celém území (Broncová, 2002).

Důležité byly výstavby obecních vodovodů a kanalizací. Velkého pokroku se dostalo hlavně městu Praze. Zde došlo k největšímu rozvoji kanalizační sítě a rovněž k výstavbě čistírny odpadních vod v Bubenči. Díky ní začala být Praha považována za velkoměsto (Sojka, 2013).

Koncem 19. a začátkem 20. století docházelo také k mnoha vědeckým výzkumům a publikacím článků o kvalitě vod, čistírnách a stokování. Samotné stokování se dokonce začalo vyučovat na stavebních fakultách vysokých škol (Praha, Brno). V průběhu dalších let vzniká v Praze Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. V 50 letech 20. století dochází k založení Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, která se mimo jiné zaměřuje na chemické a biologické procesy ve vodách (Broncová, 2002).

Průběh první poloviny 20. století byl ve znamení snahy zlepšit kvalitu vod a ovzduší. Ty byly zamořené díky silně se rozvíjícímu průmyslu. Příčina znečištění spočívala v nedostatečné kvalitě čistících zařízení v tehdejších průmyslových podnicích. Vzhledem k téměř nulovému kapitálu na ochranu životního prostředí nemohlo dojít k hledání a uskutečnění opatření, které by situaci řešilo. Rozvoj čistírenství v tehdejší Československu na nějakou dobu pozastavila hospodářská krize a následně druhá světová válka. Další rozmach v oblasti odvádění a čištění odpadních vod nastal až po válce (Broncová, 2002).

Přestože se po druhé světové válce na našem území nacházelo něco přes padesát čistíren, pořád to nebylo považováno za dostatečné množství. Z tohoto důvodu byl v roce 1948 vytvořen Státní vodohospodářský plán a v roce 1966 vyšlo v platnost ustanovení Státní vodohospodářské inspekce. Do 70. let 20. století počet vzrostl na přibližně 800 čistíren (Broncová, 2002).

V 60. letech se Praha mohla pyšnit největší aktivační čistírnou v srdci Evropy, která byla vystavena na Císařském ostrově (Sojka, 2013).

S ohledem na péči o čistotu vod se zavíraly některé podniky (výrobní celulózy, cukrovary) a další, které disponovaly nevyhovujícími systémy pro čištění vod. Situace dosahovala takové míry, že v roce 1971 došlo k vytvoření pětiletky týkající se čistírenství. Ta spočívala ve vyřazení provozu ve starých závodech; změnách v technologiích čištění tak,

aby docházelo k co nejnižšímu znečišťování povrchových vod a v budování podniků pouze s novými čistícími systémy (Broncová, 2002).

Situace znečištění se v průběhu dalších let neustále zlepšovala. Velkou roli zde hraje rozvoj výzkumu a testování povrchových vod. Na výzkum navazuje i neustálá inovace v oblasti technologií a legislativy. Rovněž se stává důležitá kooperace na evropské úrovni. Klade se větší důraz na ochranu životního prostředí a biodiverzity vodních ekosystémů. Nadále se otevírají diskuze v oblastech využitelnosti vodních toků a vodovodního hospodářství do budoucna (Broncová, 2002).

4 Mechanismy čištění odpadních vod a typy ČOV

Čistírny odpadních vod jsou konstruovány tak, že jsou schopny zajišťovat několik typů čištění. Jsou to předčištění, primární, sekundární a terciální čištění. Zařízení pro předčištění a primární čištění povětšinou pracuje na mechanickém (hrubém) principu odstraňování nečistot. Sekundární čištění je procesem biologickým. Následující a poslední terciální čištění je povětšinou proces chemický – chlorace. Každá čistírna však nefunguje na principu pouze jednoho způsobu čištění. Mechanismy se většinou vzájemně kombinují, převážně pak způsoby mechanické a biologické.

V této kapitole se pokusím přiblížit různé mechanismy čištění, které se v současných čistírnách odpadních vod využívají. Výčet je však relativně stručný, neboť množství zařízení pro odstraňování polutantů z odpadních vod je nepřehledné. Od každého způsobu čištění (mechanické, biologické, chemické) uvádím minimálně jeden příklad. Pro jednotlivé příklady jsem se rozhodla na základě důležitosti a četnosti využití daných procesů při čištění odpadní vody. Závěrem kapitoly přidávám stručný přehled některých typů čistíren odpadních vod.

4.1 Předčištění a primární čištění (mechanické)

Primární čištění odpadních vod funguje na principu mechanického odstraňování nečistot. Dochází při něm k odstraňování větších a těžších částic, které podléhají rychlejší sedimentaci, jsou rozptýlené, případně plovoucí. Často je mechanický proces čištění označován jako předčištění odpadní vody, který zahrnuje například prosévání a odstraňování šterku (Tillman, 1992).

Předčištění slouží rovněž k ochraně mechanických zařízení a usnadnění následných procesů čištění. Mechanická část čištění využívá jednoduchého odstraňování látek založeného na principu gravitační zákonitosti a zahajuje celkový proces čištění odpadních vod. Systémy pro mechanické čištění zahrnují mnoho dalších zařízení, jako jsou například provzdušňovací nádrže či nádržky pro vzniklou drť (Aziz, Mojiri, 2014).

Při primárním čištění se odstraňuje asi polovina celkového množství rozptýlených nerozpustných látek. Jedná se zejména o dusík a fosfor, toxické organické látky a choroboplodné zárodky. Proto je primární čištění důležité, neboť dochází k eliminaci možné kontaminace vody. Rovněž dochází ke snížení biologické spotřeby kyslíku (přibližně o jednu třetinu). Látky, které se v průběhu primárního procesu usazují v sedimentačních nádržích, tvoří tzv. primární kal. Prvotní čištění předchází navazujícímu sekundárnímu čištění, které je zejména biologické povahy (Guan, Holley, 2003).

Pro primární čištění existuje mnoho zařízení. Jak už bylo výše zmíněno, při tomto čištění dochází k mechanickému odstraňování nerozpustných látek a látek, které jsou schopny sedimentace. Nejrychleji sedimentují těžké látky, které jsou spíše minerálního původu. Rychlost usazování rozptýlených částic je naopak velmi pomalé. Jejich původ můžeme hledat mezi organickými látkami. Podle těchto kritérií se pak využívají nejrozumnější čistící zařízení na mechanické bázi (Čištění městských odpadních vod, 1954).

4.1.1 Česle (brlení) a síta

Významnými zařízeními pro mechanické odstraňování nečistot jsou česle. Jedná se o konstrukčně i finančně nenáročné systémy, které z odpadních vod odstraňují pevné kusy rozptýlených částic, například textilie, kusy rostlin a jiné materiály (Nosek a kol., 1957).

Jedná se o zařízení, která se instalují na počátek celého procesu přečištění odpadní vody. Česle mohou být statického typu nebo se mohou hýbat. Zachycené nečistoty se následně odklízejí stíráním, a to buď mechanicky nebo manuálně (Klicman a kol., 1958).

Využívají se zejména k odstraňování nečistot z průmyslu a mnohdy jsou v podstatě jedinými zařízeními k předčištění tohoto druhu odpadní vody. Jejich konstrukce se liší v šíři otvorů, které zachycují nečistoty. Hrubé česle jsou instalovány na počátku čistícího procesu. Jejich šíře průřezu se pohybuje okolo 15 cm. Mnohdy se nazývají také ochranné česle, které zachycují největší kusy pevných částic. Tím chrání další zařízení před silným poškozením. Jemné česle mají otvory k zachycování částic široké maximálně 2 centimetry. Dalšími typy jsou například samočistící či stupňovité česle (Malý, Hlavínek, 1996).



Obrázek 15.: Jemné česle



Obrázek 16.: Manuálně stírané hrubé česle

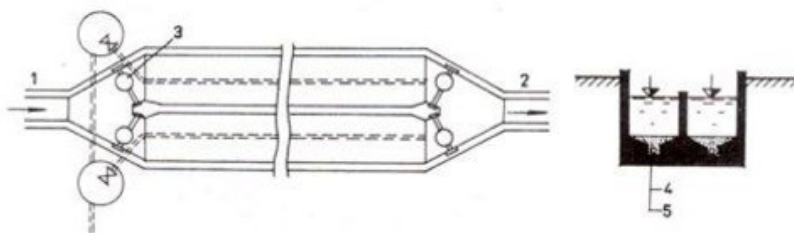
Česle jsou jedny z nejzákladnějších zařízení na čistírně, ale rovněž hygienicky nejproblematictější. Nečistoty, které musí být z česlí pravidelně odklizeny se nazývají shrabky. Z hlediska hygienického je velký problém jejich likvidace. Nejjednodušším způsobem je využívání shrabaného materiálu ke hnojení půdy. Další možností je odvoz odpadu na skládky, které mají normami určené místo tak, aby nedošlo ke kontaminaci povrchových a podpovrchových vod. Třetím způsobem může být stlačení nečistot. Tím dochází ke zmenšení objemu materiálu, ale i k vytlačení přebytečné vody. Takto upravené shrabky se spalují v komunálních spalovnách, či spalovnách přímo na čistírně (Chudoba, 1991).

Oproti česlím mívají síta mnohem menší otvory pro zachycování nečistot (maximálně kolem 0,2 cm). Odpadní vodu zbavují zejména vlasů, chlupů, přízí či vláken, které by mohly znehodnocovat další procesy čištění, zvětšovat obsah kalu či ucpávat jiná čistící zařízení (Nosek a kol., 1957).

Nejčastěji se na čistírnách využívají spádová síta či bubnová pohyblivá nebo nepohyblivá síta. Zvláštním typem sít jsou mikrosíta, jejichž šíře otvorů se počítají v mikrometrech. Mikrosíta se využívají například pro čištění chladících mechanismů v úpravárnách kovů a rud. Své využití našly i v dřevozpracujícím či potravinářském průmyslu (Malý, Hlavínek, 1996).

4.1.2 Lapače písku a šterku

Lapače písku a šterku jsou důležitými zařízeními primárního čištění, neboť se zde odstraňují pevné kusy kamení, šterku, písku aj., které by později mohly poničit další zařízení či ucpávat filtry a čerpadla. Jedná se o jámy, které se nacházejí hned u přívodu znečištěné vody (Klicman a kol., 1958).



Obrázek 17.: Lapák písku – náhled dovnitř nádrže (1 – přítok, 2 – odtok vody, 3 – stavidlo, 4 – filtrační materiál, 5 – drenáže)



Obrázek 18.: Lapače písku – venkovní pohled na nádrže

Rychlost průtoku vody skrz lapáky písku je snížena tak, aby docházelo k sedimentaci pouze drobných těžkých částic, nikoli organických látek. Kdyby se voda s organickými látkami společně s pískem dostala do další části čistícího procesu, kterým jsou usazovací nádrže, došlo by ke snížení účinnosti procesu vyhnívání. Důvodem je, že usazovací schopnost písku je oproti organickým látkám velká (Chudoba, 1991).

Organické látky se následně nabalují na písek, čímž postupně vzniká velká masa kalu. Rovněž by bylo neefektivní odstraňování písku například proudem vody, neboť by docházelo

ke zvyšování jejího objemu. Tím by se zbytečně zatěžoval celý proces čištění odpadní vody (Čištění městských odpadních vod, 1954).

Kromě zachycování písku a štěrku byly v lapačích zaznamenány i další cizorodé předměty, například hřebíky nebo kusy skel. Rovněž je nutné sledovat rychlost průtoku vody skrz lapače. Dojde-li k jejímu snížení, začnou se společně s pískem a štěrkem usazovat i organické látky. Následkem jsou hnilobné procesy, které vlivem sedimentace organických látek v lapačích probíhají. Tím se podílí na snížení kvality vody. Pojistkou proti usazování organických látek v lapači písku je například aerace. Organické látky jsou pak v neustálém pohybu a postupně se odplavují (Nosek a kol., 1957).

4.1.3 Usazovací nádrže

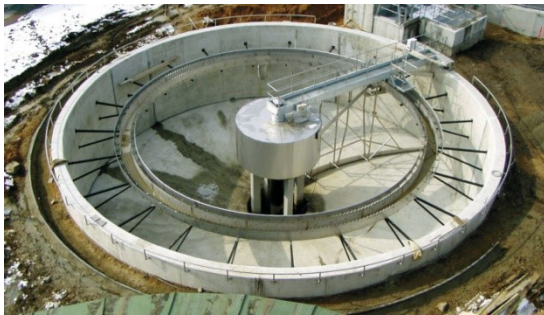
Usazovací nádrže se využívají k odstraňování nečistot, které předchozí zařízení nedokázala odstranit. Jedná se o jemné nečistoty, které jsou schopny sedimentace. Kdyby se nevyužívaly sedimentační nádrže v průběhu čištění odpadních vod, drobné nečistoty by se vypouštěly zpět do povrchových vod. Proces sedimentace by pak probíhal právě v nich, což by mělo za následek tvorbu kalu, vyhnívání a zvyšování BSK. Tímto by docházelo nejen ke snižování biodiverzity vodních ekosystémů, ale rovněž by takto znečištěná voda byla v mnoha ohledech pro člověka nepoužitelná (Čištění městských odpadních vod, 1954).

V nádržích dochází ke dvěma základním procesům usazování. První z nich je metoda prosté sedimentace. Jedná se o princip založený na zákonech gravitace. Metoda se nejčastěji využívá v komunálních čistírnách odpadních vod. Druhou možností je využití chemických látek k vyvolání srážecí reakce za vzniku větších shluků nečistot (vločkování, flokulace). Chemickou srážecí reakcí se na rozdíl od metody prosté sedimentace odstraňují i látky koloidní povahy (Klicman a kol., 1958).

Každá částice, která v usazovacích nádržích sedimentuje odlišnou rychlostí. Schopnost usazování částic pak závisí na jejich hustotě, objemu a tvaru. Z těchto důvodů musí voda v nádržích odstávat. Maximální doba pozastavení vody v nádrži je přibližně 4 hodiny. Průběh sedimentace může být negativně narušen různými víry a nárazovými proudy či přítoky.

Vzniku silného a nečekaného přítoku brání nejrůznější zdi a další bariéry (Malý, Hlavínek, 1996).

Usazovací nádrže mají nejrůznější tvary a fungují na principu všelijakých mechanismů. Existují například obdélníkové či kruhové nádrže s radiálním průtokem nebo nádrže s vertikálním průtokem. Na dně nádrží vzniká tzv. primární kal. Ten se odstraňuje mechanickým shrabováním. Rovněž se tímto způsobem odstraňují i látky plovoucí či vznášející se na vodní hladině (Chudoba, 1991).



Obrázek 19.: Kruhová usazovací nádrž (bez vody)



Obrázek 20.: Kruhová usazovací nádrž (s vodou)



Obrázek 21.: Vyhnívací nádrže, kde se kal nechává vyhnít

Vzniklý primární kal, také jinak surový kal, se následně odstraňuje z nádrže a nechává se vyhnívat. Celým tímto procesem se zabývá tzv. kalové hospodářství. Kal se nechává vyhnívat buď svou přirozenou cestou za činnosti mikroorganismů či se procesu napomáhá lidským přičiněním. Protože vyhnívání přirozenou cestou je zdlouhavý proces, využívá se spíše řízeného kalového hospodářství. Řízeným vyhníváním kalu

ve vytápěných místnostech se eliminuje vznik nežádoucích projevů (kvašení). Takto vzniklý

kal neobsahuje choroboplodné zárodky, a tudíž je z hygienického hlediska nezávadným. Následně je využíván například v zemědělství (Topinka, Konstandt, Zvejska, 1966).

4.1.4 Lapače tuků

Lapače tuků jsou druhy sedimentačních nádrží, které slouží k odstraňování tuků a mastnoty z odpadní vody. Protože jsou kapky tuku lehčí než voda, vyplavují se na vodní hladinu. Zde vytváří mastné skvrny (Čištění městských odpadních vod, 1954).

K čištění odpadních vod od tuků a mastnoty se využívají buď gravitační separátory případně flotační zařízení. Gravitační separátory fungují na principu zpomalení rychlosti toku vody. Během zpomalení dochází k vyplavování tukových částic na základě jejich fyzikálních vlastností, tedy toho, že jsou lehčí než voda (Malý, Hlavínek, 1996).

Flotační zařízení jsou založena na principu provzdušňování, díky kterému dochází k vyzvedávání částic na vodní hladinu. Vyplavené tukové částice se z povrchu hladiny odstraňují mechanicky (Nosek a kol., 1957).

Tuky a mastnotu je třeba z odpadních vod náležitě odstraňovat. Nejsou-li řádně odstraněny, dochází k jejich usazování na stěnách nádob a v dalších mechanismech. Postupně se na sebe vrství, až nakonec mohou potrubí a další přívody ucpat. Rovněž může docházet k jejich oxidaci, čímž se snižuje jakost vody. V industriálních čistírnách se lapače tuků instalují výhradně před česle a síta, aby nedocházelo k jejich zanešení (Klicman a kol., 1958).

4.2 Sekundární čištění odpadních vod (biologické)

Primárními mechanismy přečištění odpadní vody se převádí do následujícího procesu, kterým je biologická část jejího čištění. V cizojazyčných literaturách se biologická část čištění dá nalézt i pod pojmem sekundární čištění (secondary treatment) (Chudoba, 1991).

Biologická část čištění je založena na využití mikroorganismů, které jsou schopny přirozeně rozkládat určitou část organických látek (bílkoviny, uhlohydráty aj.) na látky jednodušší (methan, oxid uhličitý, sulfidy, dusičnany a další soli). Proces může probíhat zcela

bezprostředně za přirozených podmínek, kdy degradační pochody trvají delší dobu. Mezi přirozené způsoby čištění patří například čištění v biologických rybnících a povrchových tocích, zavlažování odpadní vodou nebo půdní filtrace. Z důvodu co nejrychlejšího biologického přečištění odpadní vody se však využívá uměle vytvořených podmínek prostředí. Těmi jsou například čištění pomocí aktivovaného kalu či využitím biologické filtrace (Klicman a kol., 1958).

Přečištění odpadních vod pomocí mikroorganismů může probíhat za aerobních nebo anaerobních podmínek. Při aerobních podmínkách dochází k sycení vody molekulárním kyslíkem. Ten podněcuje oxidační rozklad organických látek za vzniku oxidu uhličitého. Za anaerobních podmínek se využívá specifických metabolických pochodů mikroorganismů, které na sebe postupně navazují. Dochází tedy k řetězovým reakcím, kdy výsledný produkt metabolismu jedné skupiny mikroorganismů je živným médiem pro zástupce jiné skupiny mikrobů (Malý, Hlavínek, 1996).

Hlavními zástupci organismů, kteří se podílejí na biologickém procesu čištění, jsou zejména bakterie, ale i skupiny protozoí. Protozoa se vyskytují převážně v aerobních podmínkách, ale nalezeny byly i v podmínkách s nepřístupem ke kyslíku, například nálevnici (Klicman a kol., 1958).

4.2.1 Biologické čištění v přirozených podmínkách

Z výše zmíněného víme, že přirozenou cestou pro biologické čištění odpadní vody je využití rybníků a povrchových vodních toků, zavlažování pozemků či půdní filtrace.

Využívání odpadní vody k zavlažování polí a další zemědělské půdy má své opodstatnění. Zatímco voda postupně proniká skrz půdu do hlubších vrstev, ve svrchní části zůstávají látky a bakterie, které obohacují humusovou vrstvu. Zavlažování zemědělských půd odpadní vodou se však nedá využívat všude. Existují kritéria, která stanovují vhodné podmínky pro tento způsob využívání odpadní vody. Nutností je dobrá propustnost půdy a úměrné tomu by mělo být i množství vody používané k závlaze. Další podmínkou je zavlažování odpadními vodami s nízkým obsahem látek tukové povahy. Díky tukům a olejům by

docházelo k velkému zatížení půdy, zamezení přístupu kyslíku a hromadění organických látek. Na závlahových polích by se neměly pěstovat plodiny, které jsou určeny ke konzumaci za syrového stavu (Čištění městských odpadních vod, 1954).

Zatímco na závlahových polích se běžně pěstují plodiny a rostlinstvo, u půdních filtrů je pěstování zcela nemožné. Jedná se o menší plochy, jejichž půda má písčité charakter. Podloží je vyztuženo drenážemi, které slouží k odvodu přečištěné vody. Filtry jsou zavlažovány znečištěnou vodou s určitou frekvencí, aby byl zajištěn dostatečný přísun kyslíku a nedocházelo tak k nežádoucím anaerobním pochodům. Půdní filtry se dají využívat i v zimních měsících (Čížek, 1964).

Samočisticí schopnost povrchových vod se využívá k metodě tzv. přirozeného zředování. Podmínka je, aby docházelo k přirozené disperzi a dostatečně rychlému odvodu znečišťujících látek tak, že nedojde k narušení rovnováhy a vzniku zdravotních rizik v recipientu. V řekách, jezerech a nádržích dochází přirozenou cestou k sedimentaci, odstraňování a přeměně organických látek pomocí přítomných organismů. Limitujícím faktorem je dostatečné provzdušňování tekoucí vody. Syčení vody molekulárním kyslíkem je zajištěno jednak rychlostí toku a jednak probíhající fotosyntetickou aktivitou. Obdobně probíhá čištění v biologických rybnících. Před vypuštěním odpadních vod do recipientu je nutné důkladné mechanické předčištění (Klicman a kol., 1958).

4.2.2 Biologické čištění v uměle vytvořených podmínkách

Biologické čištění odpadních vod v uměle vytvořených podmínkách zahrnuje biologickou filtraci a využívání aktivačního kalu.

Nejčastěji užívanými biologickými filtry jsou filtry s nepřetržitou činností. Jedná se o proces, kdy dochází k rozstříkávání znečištěné vody po povrchu filtračního materiálu za nepřetržitého přísunu vzduchu. K oddělování nečistot od vodné složky se jakožto filtrační materiál využívá zrnitého podkladu (škvara, koks, žulový štěrkJ aj.). Na těchto materiálech se pak zachycují pevné látky s bakteriemi. Ty pak vytváří vrstvu, která pohlcuje nečistoty z přivedené vody (Čištění městských odpadních vod, 1954).

Významným a zároveň jedním z nejstarších procesů, který se při čištění odpadních vod využívá, je aktivační čištění nebo-li proces čištění aktivovaným kalem. Aktivovaný kal je směs různých bakteriálních kultur, vláknitých mikroorganismů apod. Nejhojněji jsou v kalu k nalezení bakterie rodů *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus* aj., nitrifikační bakterie (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), jednobuněčné houby (kvasinky), ale také například prvoci. Podstatné je, že mikroorganismy jsou schopny se seskupovat do vločkovitých útvarů a následně se dobře usazovat. Během čištění je nezbytné nádrže s oživeným kalem provzdušňovat (Chudoba, 1991).

Aktivovaný kal pracuje na principu přítomnosti aerobních mikroorganismů, které využívají



Obrázek 22.: Aktivační nádrže

jako zdroj potravy polutanty organického původu. Díky neustálému přísunu odpadní vody je v aktivační nádrži dostatek potravy a provzdušňováním dostatek kyslíku. Tím dochází k množení přítomných mikroorganismů. Organismy následně vytváří vločkovité útvary, které mají dobrou schopnost sedimentace.

Vzniklé vločky mikroorganismů mají

zvýšenou schopnost pohlcovat nečistoty jakožto svou potravu a složky nutné k jejich respiraci. Tím jsou organické látky oxidovány (Čížek, 1964).

Za aktivační nádrží bývá vybudována ještě dosazovací nádrž. Do ní putuje vzniklá flokulentní směs. V dosazovací nádrži dojde opět k sedimentaci. Přecházející voda je odváděna do povrchových toků, zatímco kalová část je zpětně odváděna do aktivační nádrže (vratný kal). Přebytkové množství kalu se dá využívat v sedimentačních nádržích, kde napomáhá k vychytávání nečistot, případně se odvádí do vyhnívacích komor k dalšímu zpracování a následnému využití například v zemědělství (Čížek, 1964).

4.3 Terciální čištění odpadních vod

Terciálním čištěním odpadních vod rozumíme jejich dočištění po předchozích stupních čištění, neboť voda může stále obsahovat zbytky nutrientů (dusík a fosfor) a dalších polutantů. K tomuto se využívá různých desinfekčních procesů (chlorace) či dalších procesů vedoucích ke snížení BSK před vypuštěním přečištěné odpadní vody do recipientu. Nejstarším dočišťovacím procesem je využívání stabilizačních nádrží. Dále se využívá cezení přes mikrosíta či pískový filtr. U průmyslových vod se využívá i dočištění na aktivním uhlí. Ve vodních tocích pak dochází ještě k přirozenému dokončení čistícího procesu (Chudoba, 1991).

4.3.1 Chlorace

Chlorování přečištěné odpadní vody má význam ve snížení zdravotní závadnosti vody před jejím navrácením do recipientu. Chlór se dá využít ve formě plynu či sloučenin solí. Chlórovací proces má význam jako desinfekce přečištěné vody od choroboplodných zárodků a dalších mikroorganismů. Rovněž se používá k odstranění zbytků nutrientů, zejména dusíku. Účelem je oxidace amoniakálního dusíku za vzniku jeho plynné formy. Voda se zadržuje v chlorovací zdrži přibližně 30 minut, aby byl účinek chlóru co nejefektivnější (Spellman, 2000).

U desinfekce chlórem je nutné hlídat správné dávkování. Podstatou je, aby se využilo takové množství chlóru, které zničí choroboplodné zárodky. Zároveň by množství chlóru nemělo být takové, aby byl podněcován vznik nežádoucích vedlejších produktů (Veselá, 2014).

4.4 Stručný výčet některých typů ČOV

Výše zmíněné mechanismy se s různou kombinací využívají v čistírnách odpadních vod (ČOV). Čistírny odpadních vod jsou různého typu. Zejména se dělí podle druhu odpadní vody. Dále je limitující množství odpadní vody, které proteče danou čistírnou. Důležité je také znát charakter a množství znečišťujících látek, aby se čistírny konstruovaly pro danou oblast s co nejmaximálnějším výkonem a správnými zařízeními k odstranění polutantů.

Nejčastěji se využívá mechanicko-biologického čištění odpadních vod (Čištění městských odpadních vod, 1954).

Ve většině čistíren nedochází k dokonalému přechištění odpadních vod. Často jsou přechištěné vody vypouštěny do recipientu, kde probíhají samočistící přírodní pochody (Čištění městských odpadních vod, 1954).

Městské čistírny odpadních vod slouží k přechišťování splaškové odpadní vody z domácností. Někdy se vystavují komunální čistírny, které slouží i k čištění odpadní vody z průmyslu. Množství průmyslových vod, které jsou vypouštěny do městské stokové sítě a následně čištěny v komunálních čistírnách mají určité kvalitativní i kvantitativní limity (Klicman a kol., 1958).

Dalším typem čistíren jsou domovní čistírny odpadních vod. Tyto se využívají zejména v samostatně stojících domech, které nemají možnost se připojit na kanalizační síť (velká vzdálenost ČOV, bariéry v krajině). Přechištěná voda se pak odvádí například do recipientu či se využívá vsakování do půdy (Rozkošný a kol., 2010).



Obrázek 23.: Kořenová čistírna odpadních vod

Novějším druhem čistíren odpadních vod jsou tzv. kořenové čistírny. Princip je postaven na využívání uměle vysazených mokřadů. Nutná je dostatečná propustnost substrátu s využitím filtračního materiálu, který zachycuje nečistoty. Před vtokem vody do soustavy kořenové čistírny je nutné mechanické předčištění (česle,

septiky, lapáky písku aj.). Zde pak probíhají nejrůznější fyzikální, chemické a biologické procesy, které napomáhají přechištění odpadních vod (Vymazal, 2016).

Výstavba průmyslových čistíren odpadních vod a jejich konstrukce mechanických zařízení je odvozena od průmyslového závodu, ve kterém znečištěná voda vzniká. Způsob čištění je

tedy zcela závislý na polutantech, které je nutno z odpadní vody odstranit. Někdy se používané způsoby a postupy čištění nepřilíš odlišují od těch, které probíhají v komunálních čistírnách odpadních vod (Malý, Hlavínek, 1996).

5 Teorie didaktických her

V této kapitole se budu zabývat teorií didaktické hry. Kapitola slouží jako spojník mezi teoretickou a praktickou částí práce.

Hra a hraní si je podstatnou součástí dětského života již po mnoho tisíciletí. Už z dob, kdy člověk žil v silném sepetí s přírodou, dokazují archeologické nálezy, že hra patřila k dětským činnostem. Už tehdejší lidé si byli vědomi, že je nutné děti vychovávat, neboť jsou jejich budoucností, pokračováním rodu. Děti se tedy učily od dospělých. Nejčastěji se hry pojily s prací a přípravou na budoucí život, ale nalezeny byly i věci určené čistě ke hraní. Z výše zmíněného vyplývá, že samotná hra je důležitým mechanismem sociálního učení, zejména pak imitace a identifikace (Němec, 2002).

V současnosti se didaktické hry a soutěže využívají ve výuce nejen v preprimárním stupni, kde jsou nejčastější metodou výuky, ale i na školách základních či středních. Jejich význam je nezastupitelný, neboť podněcují mnohostranný rozvoj dětí a jsou jednou z cest k úspěšné seberealizaci. Hra slouží například k rozvoji fantazie, kreativity, kooperace a zdravé soutěživosti. Jsou cestou k poznání na základě smyslů a názornosti, mají motivační, emocionální a společenský náboj. Hojně se využívají i jako diagnostické a terapeutické prostředky (Vališová, Kasíková a kol., 2007).

Hra je určitým typem sociální komunikace, která má za účel přiblížit hráčům svět pomocí různých odkazů – gesta, znaky či věci. Používáním různých symbolů dochází k mírnému zkreslování reality, ovlivňování reálného myšlení a vnímání. Proto je nutné, aby hra byla někým vedena. Ve školním prostředí je takovým facilitátorem zejména sám učitel. Jeho posláním je nejen udržovat hru v předem stanovených mantinelech (pravidla), řídit a vést její průběh, ale rovněž usilovat o zanechání existenčních hodnot symbolů a odkazů (Činčera, 2007).

Hra může mít nejružnější charakter a je těžké vymezit její přesnou definici. Podstatou však je, že hra a její prožívání je naprosto odlišné od běžných povinností a starostí, které máme. Tedy, že samotná hra nám otevírá jiný svět. Svět, kde jsme oproštěni od starostí, problémů a povinností. Zkrátka, hra nám umožňuje vnímat věci jinak, než je vnímáme běžně a rovněž

nám dávají možnost stát se na chvíli někým jiným. Například – každý den chodím kolem velkého kusu kamene a jediné, nad čím se zamyslím je, že tam prostě stojí. Kdybych se na něj podívala herníma očima (ku příkladu hra na schovávanou), už by pro mne nebyl bezděčným kusem kamene, ale možností úkrytu. Náhle by se stal podstatnou součástí jiného světa, světa hry (Hrkal, Hanuš, 2007).

Didaktické hry jsou nedílnou součástí výchovně vzdělávacích projektů. Hra je v podstatě nenucený a velmi účelný prostředek k rozvoji povědomí o dané problematice souběžně s rozvojem dovedností jednotlivce v téměř jakémkoli věku (Skýbová, 2009).

Vališová. Kasíková a kol. (2007) rozděluje didaktické hry podle následujících kritérií s příklady:

- časová osa – krátkodobé, dlouhodobé
- prostředí, kde se konají – v místnosti, venku
- hlavní náplň činnosti – pohybové, intelektuální
- evaluace – kvalita, množství, čas
- kdo ji hodnotí – žáci, učitel
- kdo ji nachystal – žáci, učitel.

Před uvedením hry do praxe by ji učitel či lektor, který hru vede, měl vyzkoušet, aby zjistil, co je nutné modifikovat. Hru může učitel vyzkoušet například mezi přáteli, od kterých se mu dostane zpětné vazby (Skýbová, 2009).

Zároveň by měl hru uvést do stručné podoby dokumentu, ze které je možné vyčíst podstatné informace. Vališová, Kasíková a kol. (2007) uvádí tyto informativní náležitosti:

- název hry
- potřebné pomůcky, materiál, prostředí
- stručná pravidla pro účastníky hry
- pedagogický cíl a návod pro facilitátora (vyučujícího)
- propracované a jednoznačné možnosti pro vyhodnocení
- další možné varianty a obměny hry či hodnocení

- specifické připomínky a poznámky
- náměty a body pro usměrňování závěrečné reflexe.

Pro co nejefektivnější použití didaktické hry ve výuce je nutné zvážit určitá stanoviska. Skýbová (2009) uvádí tyto základní uvědomění, která slouží k naplnění co největší efektivity hry:

- výběr didaktické hry – ujasnění cílů, výběr konkrétní hry a vhodných aktivit
- uvádění didaktických her – představení hry a pravidel, motivace účastníků, facilitace hry
- závěrečná reflexe a otevřená diskuze.

5.1 Výběr didaktické hry

Na samotném začátku tvorby hry je nutné ujasnit si, jaký má hra cíl a co chceme hrou u žáků rozvíjet. Zda chceme rozvíjet již získané znalosti či dovednosti nebo napomocť skrz hru k pochopení nových poznatků. Rovněž, zda chceme rozvíjet osobnost jedince a jeho schopnosti, chování či řešení situací (Činčera, 2007).

Po ujasnění cílů je důležitý výběr aktivit, které dané cíle budou nejlépe rozvíjet. V této fázi je nutné vzít v potaz další činitele. Těmi jsou zejména věk a zdatnost účastníků. Dále prostředí, kde bude hra probíhat, časový rámec a dostupnost materiálů. Hry se mohou uskutečňovat dvěma základními způsoby. Prvním z nich je tzv. objevný způsob, kdy účastník hrou nejprve dojde k prožitku, tedy k objevení dané skutečnosti. Druhým je pak způsob potvrzující, který vychází z již poznaného a hrou se daný fakt pouze stvrzuje (Skýbová, 2009).

5.2 Uvádění didaktických her

Rozdělení hráčů do skupin

Mnoho her je situovaných pro více hráčů, kteří se povětšinou rozdělují do skupin. Je-li hra určena pro skupiny hráčů, je nutné jejich rozdělení provést ještě před samotným počátkem

hry. Hráče můžeme rozdělit nejrozličnějšími metodami. Patří mezi ně náhodné seskupení, losování, jmenování vedoucího skupiny či rozdělení pomocí hry (Hrkal, Hanuš, 2007).

Úvod a motivace v didaktické hře

Pro samotný průběh hry je důležitý její úvod, který dále ovlivňuje i samotného hráče při vstupu do herního procesu. Nejdůležitějším a základním procesem je motivace. Podstatné je motivovat hráče, aby se hry zúčastnili. To zajišťujeme zejména lákavým názvem hry. Dále můžeme využít například dramatického vstupu (scénka) či poutavého příběhu. Motivace může také vyplývat ze samotného zájmu žáka o problematiku. Rovněž je směřodonné i charisma učitele či lektora, který hru řídí. I strohý vstup do hry se může stát zajímavým díky osobnosti facilitátora (Hrkal, Hanuš, 2007).

Výklad pravidel didaktické hry

Následovat by měl výklad pravidel, která vychází ze samotného nápadu a charakteru hry. Důležité je, aby pravidla nebyla zdlouhavá, složitá a vyčerpávající. Pro účastníky tedy musí být stručná, výstižná a pochopitelná. Rovněž musí definovat i chování účastníků (Vališová, Kasíková a kol., 2007).

Na počátku výkladu pravidel by se měla zdůraznit ta hlavní a základní pravidla. Pravidla mohou být složitější i jednoduchá. Jsou-li náročnější, můžeme jejich výklad udělat i den před samotnou hrou či pár hodin před startem je vyvěsit či všem nakopírovat. Takle příprava hráčů je nedocenitelná zejména u náročných her, kde je nutná podrobná znalost pravidel, aby se nestaly úskalím hry. Je dobré rozpoutat i diskuzi a nechat účastníkům prostor na dotazy. Pravidla musí zůstat neměnná a nesmí být připuštěna žádná modifikace, není-li to přímo podstatou hry. Je důležité mít připraveno, jak budeme řešit, když někdo pravidla porušuje. Buď využijeme sankce, se kterými jsou účastníci seznámeni či další možností je, že uděláme pravidla tak striktní, že nebude jednoduché je porušit. Závěrem zdůrazníme podstatu „fair play“ (Hrkal, Hanuš, 2007).

Průběh didaktické hry

Samotný průběh hry a její řízení vyvozuje celkový dojem ze hry. Úkolem facilitátora je, aby do hry co nejméně zasahoval. A to i tehdy, když jeho představy o průběhu jsou naprosto odlišné. Stále sledujeme dodržování pravidel. V průběhu hry pozorujeme i jaká je nálada hráčů a jakou atmosféru sdílí. Občas je dobré do hry zasáhnout takovým způsobem, abychom hráče podněcovali k lepším výkonům, motivovali je. Tím dosáhneme dynamičnosti hry a zvýšíme i její prožitek. Každý facilitátor by měl mít přehled o podstatných situacích, které během hry nastaly. Je dobré si tato fakta zapisovat či pořizovat fotky a videa. Materiály je pak vhodné využít v závěrečné reflexi hry (Skýbová, 2009).

5.3 Závěrečná reflexe a otevřená diskuze v didaktické hře

Jedná se o nejpodstatnější prvek celé hry – zpětnou vazbu. Při reflexi si jedinec či skupina vybavují, co vše se během hry událo. Může probíhat vyjádřením pomocí slov, pocitů či například proxemickými projevy. Dochází k analýzám celé hry, vybavování a rozpomínání. Rovněž dochází k propojování nejrozličnějších momentů (Valenta, 2013).

V pedagogickém světě se využívá zejména cílené zpětné vazby (cílené reflexe). Jedná se o reflexi, která je záměrná a ve své podstatě vyžadována. Typické je, že je někým podněcována a řízena (např. učitel). Bývá iniciována za účelem konkretizace momentů a dojmů, které během hraní hry proběhly. Může sloužit ke zlepšení pro příště, vyjádření prožitků z právě proběhlé hry či jako výchovný prvek. Napomáhá k uvědomění a přehodnocení svého chování. Cílená reflexe vyžaduje přípravu stejně takovou, jako samotná hra, aby došlo k řádnému ukončení a prodiskutování hry. Neměla by nabývat charakteru přednášky. Také by neměla být odbyta jen jednoduchými otázkami typu „bylo to dobré/nebylo to dobré“. Neměla by být cílená na individuální chování účastníka či být jednotvárným zážitkem (Reitmayerová, Broumová, 2007).

Reflexe by se měla navracet ke klíčovým momentům hry. Jestliže hra měla silně emotivní charakter, neměli bychom tyto pocity potlačovat. Namísto toho bychom měli začít přímo emocionální stránkou hry. Tímto si připravíme půdu na nezkreslenou a pro facilitátora i lépe

řízenou diskuzi. Struktura závěrečné diskuze by měla zahrnovat podstatné momenty hry, co ovlivňovalo průběh hry, podněty pro zlepšení hry či řešení přelomových situací, porovnání s realitou a zobecnění situací (transfer do života) (Skýbová, 2009).

5.4 Bezpečnost při didaktické hře

Při hraní her náležitě dbáme na bezpečnost účastníků. Při aktivitách může dojít k fyzickému, ale i psychickému poškození. Fyzické mohou být různé úrazy, které jsou povětšinou jednoznačné. Oproti tomu psychická újma nemusí být vždy na první pohled zřetelná. V tomto případě už je povětšinou nutná odborná pomoc psychologa. Při hraní her, zvláště pak venku, bychom měli mít zajištěnou lékárníčku a nejlépe někoho, kdo má alespoň základní zdravotnický kurz první pomoci. Pro některé aktivity (například horolezení či rafting) je důležité, aby byly vedeny náležitě proškoleným lektorem. Při výkladu pravidel hry neopomínáme uvést i pravidla bezpečnosti a apelujeme na hráče, aby je dodržovali. Otázkou bezpečnosti se zabýváme již při výběru hry, kdy rozmýšlíme schopnosti budoucích účastníků. Základním cílem her je účastníky pozitivně motivovat, rozvíjet kreativitu a zdravou sebereflexi, nikoli je přeměnit v němé tváře bez špetky radosti a nadšení (Hrkal, Hanuš, 2007).

6 Využití tematiky odpadních vod ve výuce přírodopisu

V předchozích kapitolách jsem se zabírala jednak problematikou odpadních vod a jednak didaktickou hrou po teoretické stránce. Navazující praktická část slouží k námětům, jak tematiku odpadních vod zapojit do výuky a rozšířit tak povědomí o důležitosti čistoty vod mezi dětmi. Rovněž slouží k rozvoji kreativity, komunikace a kooperace mezi žáky.

Následující možnosti zapojení problematiky do výuky mohou sloužit jako doplňky k výchovně vzdělávacím projektům v hodinách přírodopisu. Rovněž se dají začlenit do projektových týdnů a dnů na školách (například Světový den vody – 22. března). Své opodstatnění mohou najít i v hodinách ekologických praktik a zeměpisu či přírodovědně zaměřených kroužcích a aktivitách. V neposlední řadě mohou být součástí různých besed a přednášek zabývajících se problematikou odpadních vod, pitné vody a vody všeobecně.

Celá praktická část je koncipována pro žáky 8. a 9. ročníků ZŠ, kteří již mají vybudované pevné základy o vodě v přírodě a v životě člověka. Jsou znalí základů fyziky, chemie, biologie člověka a deváté ročníky i základů ekologie a ochrany životního prostředí. Tyto znalosti jsou důležité, neboť žáci již mají na čem stavět. Rovněž jsou schopni logicky uvažovat a přemýšlet. To je podstatné pro rozvoj diskuzí, které jsou nedílnou součástí vstupu do problematiky, průběhu a závěru všech níže uvedených námětů.

Náměty vychází z prvotního vhledu do problematiky odpadních vod. Jako výchozí jsem si vybrala zjištění, jaké mají žáci povědomí o vodě jako takové. Tím myslím jednoduché zopakování pomocí diskuze mezi učitelem a žáky. Učitel má připravené body diskuze, kterými vede žáky k uvědomování si základů o vodě a její úloze v přírodě a v životě člověka.

Učitel může využít jako první dotazník, kterým zjistí, jaké je povědomí dětí na samotném začátku. Dotazník může použít jako výchozí pro vstupní diskuzi, neboť z něj bude moct vyčíst, co je nutné diskuzí rozebrat, na co se zaměřit více či méně. Rovněž jej může využít jako hodnotící prvek. To znamená na samotném začátku, ale i na konci celého projektu. Tím získá porovnání, zda došlo k rozvoji povědomí o dané problematice.

Další možností je využití multimediální techniky. Tvorba prezentace se základními body, které chceme s dětmi v diskuzi rozebírat. Možností je i využití interaktivních tabulí¹⁰, které bývají pro děti zábavnými prvky ve výuce.

Dále mohou žáci ve skupinách tvořit myšlenkové mapy. Jedná se o alternativní grafické znázornění myšlenek. Výchozím bodem je centrální prvek (slovo, sousloví, obrázek), který charakterizuje základní motiv dané mapy. Od centrálního motivu mapy se větví další myšlenky, které se k danému tématu vztahují. Při jejich tvorbě se bohatě uplatňuje proces asociace (Zůnová, 2015).

Styčnými body pro vstupní diskuzi jsou:

Voda v přírodě – hydrosféra, skupenství vody a příklady, koloběh vody na Zemi, povrchová a podpovrchová voda, voda v rostlinách a živočiších, globální oteplování, přírodní katastrofy související s vodou aj.

Voda a člověk – voda v lidském těle, využití vody člověkem, pitná voda, nemoci přenášené vodou, množství využití vody 1 člověkem za 1 den (možnost spočítat – mezipředmětový vztah s matematikou) aj.

Odpadní voda – vznik, typy odpadních vod, množství odpadní vody, nečistoty z domácností, průmyslové vody, srážkové vody, historie čistírenství, kanalizace, čistírny odpadních vod aj.

Po takové diskuzi by mohla být zařazena i návštěva čistírny odpadní vody, například návštěva Staré čistírny odpadních vod v Praze – Bubenči¹¹, kde děti vše uvidí na vlastní oči. Dojde tím k prohloubení znalostí o odvádění a čištění odpadních vod pomocí smyslového vnímání. Učitel může pro žáky vytvořit pracovní listy s otázkami. Odpovědi naleznou ve vyprávění průvodce. Exkurze pak může být opěrným bodem pro hry spojené s danou problematikou (viz hra „Cesta odpadní vody z domácnosti až do řeky“).

¹⁰ Interaktivní tabule je dotyková („chytrá“) tabule, která je dnes součástí valného množství tříd na ZŠ

¹¹ Stará čistírna odpadních vod v Praze – Bubenči sídlí na adrese: Papírenská 6, 160 00 Praha 6; odkaz na webové stránky: <http://www.stara-cistirna.cz/>

6.1 Didaktická hra 1: Cesta odpaní vody z domácnosti až do řeky

Autor: Karolína Rychtecká

Časová náročnost: 90 minut (dvouhodinový vyučovací blok)

Věk účastníků: žáci 8. a 9. ročníků ZŠ

Optimální počet žáků: 20 – 30 účastníků

Pomůcky:

kartičky s pojmy související s cestou odpadní vody uložené v obálce, papíry A1 nebo A2, psací a kreslicí potřeby

Pojmy na kartičky 1 (jedna barva – například bílá): dům, stoková síť, čistírna odpadních vod, česle, síta, lapáky písku a šterku, usazovací nádrž, aktivační nádrž s bakteriemi, dosazovací nádrž, dočišťovací nádrž s chlórem, řeka.

Pojmy na kartičky 2 (odlišné barvy než výše zmíněné pojmy, barva je však jednotná): hrubé čištění (předčištění), sekundární čištění, terciální čištění, samočistící proces.

Pozn.: množství materiálu se odvíjí od počtu skupin

Prostředí: místnost, třída; podstatná je předchozí návštěva čistírny odpadních vod

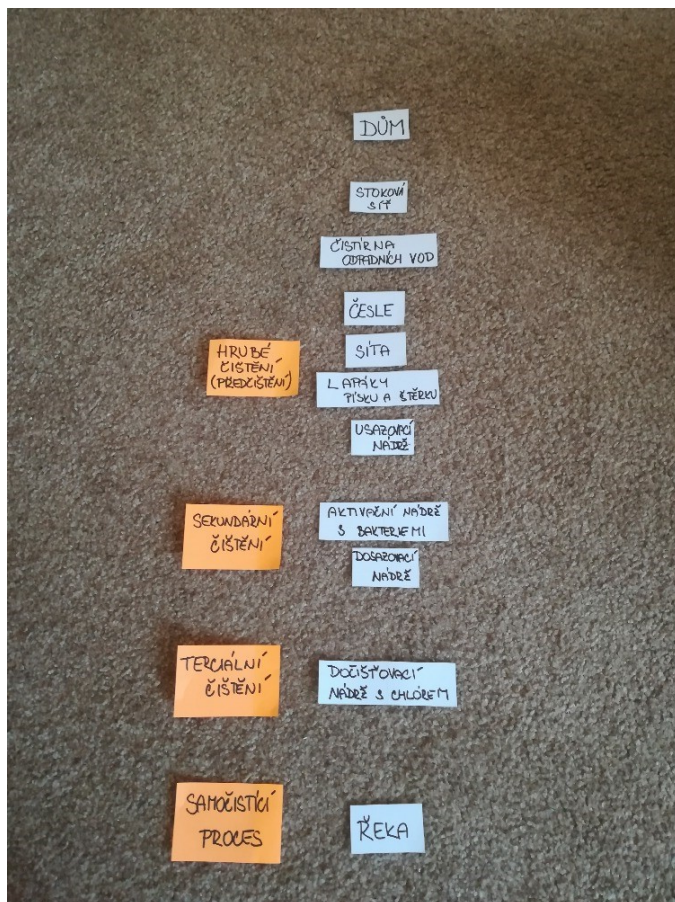
Pedagogický cíl:

Žáci si aktivitou uvědomují proces odvodu a systém čištění odpadní vody. Rovněž si uvědomují nutnost čištění odpadní vody a důležitost ochrany vodních zdrojů. Během aktivity dochází k rozvoji kooperace, komunikace a kreativity.

Pravidla a postup hry:

Na počátku vyučovací hodiny učitel rozdělí žáky do skupin po 3 – 4. Následně facilitátor projde s žáky poznatky, které získali při návštěvě Staré čistírny odpadních vod v Praze – Bubenči. Při úvodní diskuzi probíhá i kontrola pracovních listů, které žáci vyplňovali během prohlídky čistírny. Učitel s žáky projde základní schéma cesty odpadní

vody z domácnosti až do řeky (například demonstruje nákresem na tabuli). S žáky zopakuje i důležitost vody v lidském životě a v přírodě.



Obrázek 24.: Rozložení kartiček s pojmy

v čistírně) podle toho, a jaký typ čištění se jedná. Žáci mezi sebou soutěží na rychlost a správnost. Rovněž je stanovený maximální čas (cca 5 minut). Po doběhnutí času zkontroluje společně s žáky správnost a rozebere s nimi případné nejasnosti v návaznosti čistírenských procesů. Správně upravené schéma si skupiny ponechávají na lavici.

Následně každý tým dostane papír o velikosti A1 nebo A2. Na papír překreslí schéma zcela názorně a stručně pomocí obrázků, nikoli slovy. Časová dotace přibližně 45 – 60 minut. Projekty pak mezi sebou ústně odprezentují. Prezentace probíhá přibližně 5 minut.

Poté každé skupině rozdá obálky, ve kterých jsou uloženy všechny kartičky (obou barev) kromě jedné, která má nápis DŮM. Kartička s nápisem DŮM zůstává žákům odhalena jako startovní kartička. Žáci mají za úkol seřadit kartičky z obálky tak, aby sestavili schéma cesty odpadní vody. Bíle kartičky (viz pojmy na kartičky 1) řadí žáci pod sebe tak, aby tím popsali cestu odpadní vody z domu, přes zařízení v čistírně odpadních vod až po vyústění do řeky. Zbylé kartičky s odlišnou barvou (viz pojmy na kartičky 2) přiřadí k bílým kartičkám (zařízením

Modifikace hry:

Při menší časové dotaci nemusí žáci překreslovat celé schéma pomocí obrázků. Učitel může mít připravený papír, na kterém je schéma již natištěno. Obsahuje však volná políčka, do kterých žáci překreslují obrázky z pojmů. Rovněž může mít připravenou interaktivní schéma, do kterého žáci převádějí obrázky z nabídky.

Další obměnou je, že učitel během úvodní diskuze schéma cesty odpadní vody nekreslí. Namísto toho žáci pomocí kartiček zkoušejí sami, co si pamatují.

Zbývá-li čas nebo není-li možnost využít výše zmíněného postupu hry, může učitel zapojit ukázkou procesů sedimentace nebo demonstrovat nutnost odstraňování tuků a mastnoty z odpadních vod. Do jedné kádinky s vodou rozvíříme písek – děti pozorují sedimentaci. Učitel může pomocí stopek či hodin měřit čas, jak dlouho sedimentace trvá. Do druhé kádinky nalijeme například olej – děti pozorují plovoucí olejnaté skvrny. V průběhu dětem jednotlivé jevy vysvětluje.

Učitel může kádinkou pohybovat a ukazovat dětem, jak tuk ulpívá na stěnách nádoby. Případně může použít ptačí perí a demonstrovat tak, jak by mastnota mohla ublížit vodním ptákům (podle osobního sdělení Mgr. Dagmar Říhové, Ph.D. (zaměstnance Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy. Magdalény Rettigové 4, Praha 1) dne 26. června 2018).

Závěrem hry může být společné vytvoření výstavky vytvořených schémat na chodbě, aby se problematika dostala do povědomí i dalších žáků školy.

6.2 Didaktická hra 2: Výroba filtru, aneb záchrana lidstva od špíny

Autor: Karolína Rychtecká

Výroba filtru: inspirace na: <http://www.chemiehrou.funsite.cz/05.html>

Časová náročnost: 90 minut (dvouhodinový vyučovací blok)

Věk účastníků: žáci 8. a 9. ročníků ZŠ

Optimální počet žáků: 20 – 30 účastníků

Pomůcky pro výrobu filtru:

plastová láhev např. od vody (1,5 l), vata (hrst), aktivní uhlí (lze použít i živočišné uhlí), písek (1 – 2 hrsti), hrubší štěrk (1 – 2 hrsti)

Pozn.: tento rozpis pomůcek je pro 1 skupinu a je nutno jej vynásobit výsledným počtem skupin

Další pomůcky:

voda z rybníku či kaluže (čím špinavější, tím lepší), 2 kádinky o objemu 1 litr, nůž pro lepší odstranění dna lahve, psací a kreslicí potřeby, papír o velikosti A4

Pozn.: vodu z rybníku či kaluže můžeme pro efekt navíc znečistit například trávou

Prostředí: místnost, učebna

Pedagogický cíl:

Hra slouží k pochopení mechanismu čištění odpadní vody v čistírně. Podstatou je využití názornosti a smyslů pro zvýšení povědomí o nutnosti čištění odpadních vod. Rovněž slouží k rozvoji kooperativního jednání, komunikace, kreativity a fantazie. Děti se hrou také učí prosadit a představit svůj výrobek.

Pravidla a postup hry:

Vedoucí hry rozdělí účastníky do skupin po 3 – 4. Každá skupina má připraveny pomůcky pro výrobu filtru (viz pomůcky pro výrobu filtru). Součástí je i papír o velikosti A4. Před samotným vyprávěním příběhu učitel upozorní žáky, aby řádně poslouchali a dělali si

poznámky. Vyprávění totiž obsahuje i „recept“ na výrobu filtru, který budou ve hře potřebovat.



Obrázek 25.: Ukázka vyrobeného filtru pro představu

Učitel dále uvede hru příběhem o vynálezci čistícího filtru a jeho výrobě. Po dovyprávění učitel s žáky projde jejich poznámky k výrobě filtru a společně ucelí postup výroby (učitel finální postup napíše na tabuli). Následně se účastníci hry stávají na okamžik vynálezci filtru. Úkolem hráčů je filtr sestavit (viz poznámky). Vymyslet mu název a poutavý slogan. Rovněž je součástí výroba atraktivního reklamního plakátu na papír formátu A4. Plakát bude poukazovat na jedinečný vynález, který zachrání svět od špíny. Závěrem hry žáci ústně prezentují svůj sestavený filtr. Představí jeho název, slogan a reklamní poutač. Možné je i vymyslet krátký příběh o jeho výrobě k oživení prezentace. Zároveň během prezentace demonstrují přecházení vody skrz

filtr. Do jedné kádinky nalijeme část vody z rybníku. Druhou kádinku postavíme tak, aby do ní odtékala přecházená voda skrz vyrobený filtr. Kádinky pak postavíme vedle sebe, čímž porovnáváme a demonstrujeme podstatu přecházení špinavé odpadní vody.

Poznámky:

Výroba filtru – uřízneme dolní část lahve a postupně vrstvíme materiál v pořadí vata, aktivní uhlí, písek a hrubší štěrk.

Modifikace hry:

Při kratším času na aktivitu mohou hráči filtr pouze vyrobit, vymyslet mu název a slogan. Dále účastníci ústně odprezentují své výtvořky stejně jak je uvedeno v postupu hry. Další

možností při například nedostupnosti materiálu, který přijde do plastové lahve, můžeme využít obyčejný filtr na kávu či látku.

Závěr

V bakalářské práci na téma „Problematika odpadních vod a využití tematiky ve výuce přírodopisu“ jsem shrnula poznatky z oblasti čištění odpadních vod a rovněž jsem poskytla náměty na využití tematiky ve výuce přírodopisu. V práci jsem pojednávala o druzích odpadních vod. Dále jsem se zabývala charakteristikou základních znečišťujících látek, které se v odpadních vodách vyskytují. O dané problematice jsem pojednávala také v kontextu historického vývoje čistírenství ve světě a v České republice. Dále jsem se zabývala mechanismy, které se využívají při přecházení odpadních vod v čistírnách. Rovněž jsem uvedla stručný výčet některých typů čistíren odpadních vod.

V posledních dvou kapitolách bakalářské práce jsem shrnula teorii didaktické hry, a také jsem poskytla náměty didaktických her pro využití tematiky odpadních vod ve výuce přírodopisu pro 8. a 9. ročníky základní školy. Okrajově pojednávám o možnosti exkurze do čistírny odpadních vod.

Význam začlenění tematiky odpadních vod do výuky přírodopisu shledávám v rozšíření znalostí o úloze vody v lidském životě. Dále může sloužit k pochopení důležitosti ochrany a péče o vodní zdroje, s perspektivou pro další generace. Tematika se dá využít k propojení poznatků získaných v jiných předmětech, například v chemii, zeměpise, fyzice či environmentální výchově.

Seznam použitých informačních zdrojů

ANGELAKIS, Andreas, ed. a Joan ROSE, ed., 2014. *Evolution of sanitation and wastewater technologies through the centuries*. 1st ed. London: IWA Publishing. ISBN 9781780404844.

AZIZ, Hamidi, ed. a Amin MOJIRI, ed., 2014. *Wastewater engineering: Advanced wastewater treatment systems*. Penang: IJSR Publications.

BRANIŠ, Martin, ed., Iva HŮNOVÁ, ed., a kolektiv, 2009. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Vyd. 1. V Praze: Karolinum. ISBN 978-80-246-1598-1.

BRONCOVÁ, Dagmar, ed., 2002. *Historie kanalizací: dějiny odvádění a čištění odpadních vod v Českých zemích*. Vyd. 1. Praha: MILPO MEDIA. Z historie průmyslu. ISBN 80-860-9825-7.

CHUDOBA, Jan, 1991. *Odpadní vody a jejich čištění*. Praha. ISBN 80-85122-09-X.

ČINČERA, Jan, 2007. *Práce s hrou: pro profesionály*. 1. vyd. Praha: Grada. Pedagogika (Grada). ISBN 978-80-247-1974-0.

Čištění městských odpadních vod, 1954. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada stavební literatury.

ČÍŽEK, Pavel, 1964. *Základy zdravotního inženýrství: základy kanalizace obcí II. díl*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

GRAY, Nick, 2004. *Biology of wastewater treatment*. 2nd ed. London: Imperial College Press. ISBN 1-86094-328-4.

GUAN, Tiffany a Richard HOLLEY, 2003. *Hog manure management, the environment and human health*. 1st ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. ISBN 0-306-47807-2.

HAGER., Willi, 2010. *Wastewater hydraulics theory and practice*. 2nd ed. Heidelberg: Springer. ISBN 978-364-2113-833.

HENDRICKS, David, 2006. *Water treatment unit processes: physical and chemical*. Boca Raton (Florida): Taylor & Francis. ISBN 978-0-8247-0695-1.

HENZE, Mogens, ed., Mark VAN LOOSDRECHT, ed., George EKAMA, ed. a Damir BRDJANOVIC, ed., 2008. *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design*. 1st ed. London: IWA Publishing. ISBN 978-1843391880.

- HERKA, Milan, 2014. *Monitoring obsahu fosforu a dusíku v odpadních vodách*. Brno.
- HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX, 2001. *Průručka stokování a čištění*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000. ISBN 80-860-2030-4.
- HRKAL, Jan, ed. a Radek HANUŠ, ed., 2007. *Zlatý fond her II: hry a programy připravené pro kurzy Prázdninové školy Lipnice*. Vyd. 4. Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-265-2.
- HUDEČEK, Tomáš, 2014. *Konstrukce brněnských středověkých jímek*. Brno. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita.
- Jednotné analytické metody: vody : I. pitná voda : II. užitková voda : III. provozní voda : IV. povrchová voda : V. odpadní vody*, 1953. Praha: MPP.
- JENKINS, David, ed. a Jiří WANNER, ed., 2014. *Activated sludge - 100 years and counting*. 1st. Glasgow: IWA Publishing. ISBN 978-178-0404-936.
- KLICMAN, Josef a kolektiv, 1958. *Čistírny městských odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- LICHTFOUSE, Eric, ed., 2009. *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*. Springer. ISBN 978-1-4020-9654-9.
- MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK, 1996. *Čištění průmyslových odpadních vod*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000. ISBN 80-860-2005-3.
- MARA, D., ed. a N. HORAN, ed., 2003. *Handbook of water and wastewater microbiology*. 1st ed. San Diego: Academic Press. ISBN 01-247-0100-0.
- MOLDAN, Bedřich, 2015. *Podmaněná planeta*. Druhé, rozšířené a upravené vydání. V Praze: Karolinum. ISBN 978-80-246-2999-5.
- NĚMEC, Jiří, 2002. *Od prožívání k požitkářství: výchovné funkce hry a její proměny v historických koncepcích pedagogiky*. Brno: Paido. Edice pedagogické literatury. ISBN 80-731-5006-9.
- NOSEK, Jaromír a kolektiv, 1957. *Voda ve spotřebním průmyslu: (průmysl textilní, sklářský a kožedělný)*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- PALANNA, O.G., 2009. *Engineering chemistry*. 1st ed. New Delhi (India): Tata McGraw Hill Education Pvt. Ltd. ISBN 978-0-07-014610-5.

PITTER, Pavel, 2009. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-701-9.

PITTER, Pavel, 2015. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-928-0.

PUNMIA, B.C., Ashok JAIN, ed., 1998. *Waste water engineering*. New Delhi (India): Laxmi Publications. ISBN 81-7008-091-6.

REITMAYEROVÁ, Eva a Věra BROUMOVÁ, 2007. *Cílená zpětná vazba: metody pro vedoucí skupin a učitele*. Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-317-8.

RICHARDSON, Lawrence., 1992. *A new topographical dictionary of ancient Rome*. Baltimore: Johns Hopkins University Press. ISBN 08-018-4300-6.

ROWE, Donald a Işam ABDEL-MAGID, 1995. *Handbook of wastewater reclamation and reuse*. Boca Raton (Florida): Lewis Publishers. ISBN 0-87371-671-X.

ROZKOŠNÝ, Miloš a kolektiv, 2010. *Domovní čistírny odpadních vod*. V Brně: ZO ČSOP Veronica. ISBN 978-80-87308-07-3.

ŘÍHOVÁ, Dagmar. Osobní sdělení zaměstnance (Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy, Magdalény Rettigové 4, Praha 1) dne 26. června 2018

ŠÁLEK, Jan a kolektiv, 2012. *Voda v domě a na chatě: využití srážkových a odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3994-6.

SEDLAK, Richard., 1991. *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: principles and practice*. 2nd ed. Boca Raton (Florida): Crc Press Inc. ISBN 0-87371-683-3.

SILVA, Bruna, Filomena COSTA, Icabel NEVES a Teresa TAVARES, 2015. *Psychiatric pharmaceuticals as emerging contaminants in wastewater*. 1st ed. Cham (Switzerland): Springer International Publishing AG. ISBN 978-3-319-20492-5.

SKÝBOVÁ, Jana, 2009. *Environmentální výchovné projekty a ekologické hry ve školní a mimoškolní praxi: pro učitelství biologie a environmentálního vzdělávání*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta. ISBN 978-80-7290-411-2.

SLADE, Philip, 1998. *Handbook of fiber finish technology*. 1st ed. New York: Marcel Dekker. ISBN 08-247-0048-1.

SOJKA, Jan, 2013. *Čistírny odpadních vod: pro rodinné domy*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4504-6.

SPELLMAN, Francis, 2014. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. 3rd ed. Boca Raton (Florida): Taylor & Francis Inc. ISBN 978-1-4665-5337-8.

SPELLMAN, Frank R., 2000. *Spellman's standard handbook for wastewater operators: advanced level, volume 3*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press LLC. ISBN 1-56676-835-7.

ŠAFHAUSER, Roman a Matěj SMLSAL. Pražskou kanalizaci ucpává tuk z restaurací, někdy i hokejky. www.idnes.cz [online]. 19.9.2017 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: https://praha.idnes.cz/kanalizace-zanasi-tuky-restaurace-praha-fdk-/praha-zpravy.aspx?c=A170919_102856_praha-zpravy_rsr

TILLEY, David, 2011. *Aerobic wastewater treatment processes: history and development*. 1st ed. London (UK): IWA Publishing. ISBN 978-1843395423.

TILLMAN, Glenn M., 1992. *Primary treatment at wastewater treatment plants*. Boca Raton: Lewis Publishers. ISBN 08-737-1428-8.

TOPINKA, Otto, Jiří KONSTANDT a Milan ZVEJŠKA, 1966. *Kanalizace a čistírny odpadních vod V: kalové a plynové hospodářství*. Praha: Ústřední správa vodního hospodářství.

TOPINKA, Otto, Miroslav SÝKORA a Milan ZVEJŠKA, 1967. *Kanalizace a čistírny odpadních vod II.: odpadní vody*. Praha: Ministerstvo zemědělství, lesního a vodního hospodářství.

TOPINKA, Otto, Leo TOMEK a Jiří FOUSEK, 1967. *Kanalizace a čistírny odpadních vod I.: Stoková síť a čerpací stanice*. Praha, 160 s.

TUČEK, Milan a Alena SLÁMOVÁ, 2012. *Hygiena a epidemiologie pro bakaláře*. 1. vyd. V Praze: Karolinum. ISBN 978-80-246-2136-4.

VALENTA, Josef, 2013. *Didaktika osobnostní a sociální výchovy*. Praha: Grada. Pedagogika (Grada). ISBN 978-80-247-4473-5.

VALIŠOVÁ, Alena, Hana KASÍKOVÁ a kolektiv, 2007. *Pedagogika pro učitele*. Praha: Grada. Pedagogika (Grada). ISBN 978-80-247-1734-0.

VAN HAANDEL, Adrianus a Jeroen VAN DER LUBBE, 2007. *Handbook Biological Waste Water Treatment: Design and Optimisation of Activated Sludge Systems*. Leidschendam: Quist Publishing. ISBN 978-90-77983-22-5.

VENSKÁ, Petra, 2015. *Dusík a jeho sloučeniny v odpadních vodách*. Brno.

VESELÁ, Martina. *Dezinfekce odpadních vod chlorací a UV zářením* [online]. 2.11.2014 [cit. 2018-06-28]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/50764>

VIGNESWARAN, Saravanamuthu, ed., 2009. *Water and wastewater treatment technologies - Volume I*. 1.st ed. Oxford (UK): Eolss Publishers. ISBN 978-1-84826-188-4.

VYMAZAL, Jan, 2016. *Kořenové čistírny odpadních vod: využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji*. Plzeň: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí.

ZŮNOVÁ, Tereza. *Myšlenkové mapy a jejich využití při učení*. Praha, 2015. Bakalářská práce. Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1.: Londýnská kanalizace zanesená tukem, https://praha.idnes.cz/foto.aspx?r=praha-zpravy&c=A170919_102856_praha-zpravy_rsr&foto=AHA6df599_2.jpg, cit. 28.6.2018

Obrázek 2.: Proces odstranění nečistoty z látky pomocí tenzidů obsažených například v pracím prášku, <https://www.okay.cz/jak-funguje-praci-prasek/>, cit. 28.6.2018

Obrázek 3.: Knóssoský vodní systém, <http://anthgroup3.web.unc.edu/category/architecture-and-public-infrastructure/knossos-water-system/>, cit. 28.6.2018

Obrázek 4.: Cloaca maxima v Římě z roku 1814, <https://www.atlasobscura.com/places/cloaca-maxima>, cit. 28.6.2018

Obrázek 5.: Muž tlačící vozík s vědry nazývaný Boldoot, <http://www.artnet.com/artists/george-hendrik-breitner/men-pulling-a-boldootkar-amsterdam-gYGebSQ0Pcx89mOK7g9X1w2>, cit. 28.6.2018

Obrázek 6.: Liernurova podtlaková kanalizace, <http://www.sewerhistory.org/photosgraphics/comprehensive-atypicalnon-gravity-sewer-system-designs-such-as-the-shone-berlier-and-liernur-system/>, cit. 28.6.2018

Obrázek 7.: Prevét na hradě Švihov, http://jdlavicka.rajce.idnes.cz/Svihov_-_hrad%2C_interiery_a_okoli/#Prevet.jpg, cit. 28.6.2018

Obrázek 8.: Archeologické práce při odkrývání jímky, https://vary.idnes.cz/foto.aspx?r=vary-zpravy&c=A170315_2312296_vary-zpravy_ba&foto=BA69f5b8_134141_5560426.jpg, cit. 28.6.2018

Obrázek 9.: Středověká koupel a péče lazebnice (pečovatelka v lázních), <http://www.mesto-trebon.cz/cz/historie-mesta-a-pamatky/lazne.html>, cit. 28.6.2018

Obrázek 10.: Nástěnný prameník, <http://www.chatar-chalupar.cz/vylevky-stale-slouzi/>, cit. 28.6.2018

Obrázek 11.: Pisoár na Karlově náměstí z počátku 19. století, http://www.metro.cz/foto.aspx?r=metro-extra&c=A131212_125712_metro-extra_row&foto=RAB4fe2c2_vodnipisoarnakarlovenamesti_pred1907.JPG, cit. 28.6.2018

Obrázek 12.: Budova veřejných toalet přibližně z roku 1890,
http://www.metro.cz/foto.aspx?r=metro-extra&c=A131212_125712_metro-extra_row&foto=RAB4fe2c3_elakovskychsadech1907_jankrizenecky.JPG. cit. 28.6.2018

Obrázek 13.: Stálá monitorovací stanice u Dolnopočernického rybníka,
<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1998/cislo-1/terenni-stanice.html#&gid=1&pid=1>, cit. 28.6.2018

Obrázek 14.: Stará čistírna odpadních vod v Praze – Bubenči,
<http://www.pvk.cz/aktuality/cistirna-v-bubenci-slavi-110-let-od-zahajeni-provozu/>, 28.6.2018

Obrázek 15.: Jemné česle, <http://www.ovak.cz/index.php?document=419>, cit. 28.6.2018

Obrázek 16.: Manuálně stírané hrubé česle,
http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/mc.html, cit. 28.6.2018

Obrázek 17.: Lapák písku – náhled dovnitř nádrží (1 – přítok, 2 – odtok vody, 3 – stavidlo, 4 – filtrační materiál, 5 – drenáže), http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/mc.html, cit. 28.6.2018

Obrázek 18.: Lapače písku – venkovní pohled na nádrže,
http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/mc.html, cit. 28.6.2018

Obrázek 19.: Kruhová usazovací nádrž (bez vody), <http://www.vhzdis.eu/?product=kruhove-usazovaci-a-dosazovaci-nadrze&lang=cs>, cit. 28.6.2018

Obrázek 20.: Kruhová usazovací nádrž (s vodou), <http://www.vhzdis.eu/?product=kruhove-usazovaci-a-dosazovaci-nadrze&lang=cs>, cit. 28.6.2018

Obrázek 21.: Vyhnívací nádrže, kde se kal nechává vyhnít,
http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/khcov.html, cit. 28.6.2018

Obrázek 22.: Aktivační nádrže, http://www.metro.cz/foto.aspx?r=metro-praha&c=A170828_183725_metro-praha_jsk&foto=JSK592cfc_stednistrnaodpadnchvod_aktivandredre.jpg, cit. 28.6.2018

Obrázek 23.: Kořenová čistírna odpadních vod, http://www.kcov-rostliny.cz/Images/IMG_2635big.jpg, cit. 28.6.2018

Obrázek 24.: Rozložení kartiček s pojmy, archiv autora práce, cit 29.6.2018

Obrázek 25.: Ukázka vyrobeného filtru pro představu,
<http://www.chemiehrou.funsite.cz/05.html>, cit. 28.6.2018